

1.STACIONARNA MOLEKULSKA DIFUZIJA

$$n_A = \frac{\Delta C}{R}$$

$$\dot{N}_A = n_A \cdot A$$

$$N_A = \dot{N}_A \cdot \tau$$

ΔC – razlika molskih koncentracija komponente A, $\frac{\text{kmolA}}{\text{m}^3(\text{A} + \text{B})}$

R – otpor transportu materije molekulskom difuzijom, $\frac{\text{s}}{\text{m}}$

n_A – molski fluks komponente A, $\frac{\text{kmolA}}{\text{m}^2\text{s}}$

\dot{N}_A – molski protok komponente A, $\frac{\text{kmolA}}{\text{s}}$

N_A – količina komponente A koja se transportuje molekulskom difuzijom, kmolA

A – površina kroz koju se vrši molekulska difuzija, m²

τ – vreme trajanja molekulske difuzije, s

$$C_A = \frac{P_A}{R_u \cdot T} = y_A \cdot \frac{P}{R_u \cdot T}, \quad P_A = y_A \cdot p$$

C_A – molska koncentracija komponente A, $\frac{\text{kmolA}}{\text{m}^3(\text{A} + \text{B})}$

p_A – parcijalni pritisak komponente A, Pa

y_A – molski udeo komponente A, $\frac{\text{kmolA}}{\text{kmol}(\text{A} + \text{B})}$

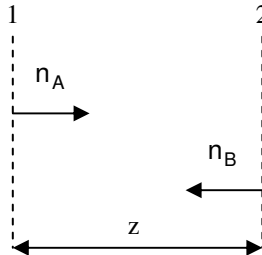
p – ukupan pritisak u sistemu Pa

T – temperatura sistema K

R_u – univerzalna gasna konstanta, $8315 \frac{\text{J}}{\text{kmol} \cdot \text{K}}$

A. ekvimolarna suprotnosmerna molekulska difuzija:

$$n_A = \frac{C_{A1} - C_{A2}}{\frac{z}{D}} = \frac{p_{A1} - p_{A2}}{\frac{z}{D}} \cdot \frac{1}{R_u \cdot T} = \frac{y_{A1} - y_{A2}}{\frac{z}{D}} \cdot \frac{p}{R_u \cdot T}, \quad n_B = -n_A$$



C_A – molska koncentracija komponente A,	$\frac{\text{kmolA}}{\text{m}^3(\text{A} + \text{B})}$
p_A – parcijalni pritisak komponente A,	Pa
y_A – molski udeo komponente A,	$\frac{\text{kmolA}}{\text{kmol}(\text{A} + \text{B})}$
n_A – molski fluks komponente A	$\frac{\text{kmolA}}{\text{m}^2\text{s}}$
n_B – molski fluks komponente B	$\frac{\text{kmolB}}{\text{m}^2\text{s}}$
z – rastojanje dva posmatrana preseka	m
D – koeficijent difuzije	$\frac{\text{m}^2}{\text{s}}$
p – ukupan pritisak u sistemu	Pa

za proizvoljni presek rektifikacione kolone važi:

$$p_{A1} = x \cdot p_A^\theta \quad (\text{Raulov zakon})$$

$$p_{A2} = y \cdot p \quad (\text{Daltonov zakon})$$

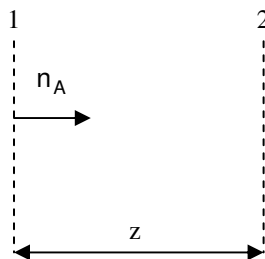
x – molski udeo komponente A u te~noj fazi u posmatranom preseku kolone

y – molski udeo komponente A u gasnoj fazi u posmatranom preseku kolone

p_A^θ – napon pare ~iste komponente A na temperaturi sistema (T), Pa

B. jednosmerna molekulska difuzija komponente A kroz nepokretan sloj (stagnat):

$$n_A = \frac{C_{A1} - C_{A2}}{\frac{z}{D}} \cdot \frac{C}{C_{Bln}} = \frac{p_{A1} - p_{A2}}{\frac{z}{D}} \cdot \frac{1}{R_u \cdot T} \cdot \frac{p}{p_{Bln}} = \frac{y_{A1} - y_{A2}}{\frac{z}{D}} \cdot \frac{p}{R_u \cdot T} \cdot \frac{1}{y_{Bln}}$$



C_{Bln} – srednja logaritamska molaska koncentracija komponente B du` puta razmene materije, $\frac{\text{kmolA}}{\text{m}^3(\text{A} + \text{B})}$

$$C_{Bln} = \frac{C_{B1} - C_{B2}}{\ln \frac{C_{B1}}{C_{B2}}}$$

C – molaska koncentracija gasnog rastvora, $\frac{\text{kmol}(\text{A} + \text{B})}{\text{m}^3(\text{A} + \text{B})}$

$$C = \frac{C_1 + C_2}{2} = \frac{p}{R_u \cdot T}$$

p_{Bln} – srednji logaritamski pritisak komponente B du` puta razmene materije, Pa

$$p_{Bln} = \frac{p_{B1} - p_{B2}}{\ln \frac{p_{B1}}{p_{B2}}}$$

y_{Bln} – srednji logaritamski molski udeo komponente B du` puta razmene materije, $\frac{\text{kmolA}}{\text{kmol}(\text{A} + \text{B})}$

$$y_{Bln} = \frac{y_{B1} - y_{B2}}{\ln \frac{y_{B1}}{y_{B2}}}$$

pri isparavanju komponente A iz te~nosti u miran okolni vazduh:

$$p_{A1} = x \cdot p_A^\theta$$

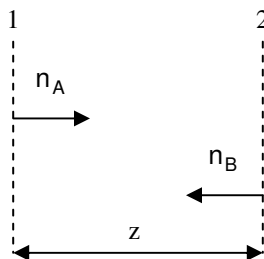
p_{A2} – parcijalni pritisak komponente A u okolnom mirnom vazduhu, Pa

p_A^θ – napon pare ~iste komponente A na temperaturi te~nosti

x – molski udeo komponente A u te~nosti

1.1. Mešavina ugljen-dioksida (A) i vazduha (B) se nalazi na temperaturi $T=298\text{ K}$ i pritisku $p=202.6\text{ kPa}$. Duž površine dve paralelne ravni koje su međusobno udaljene $z=3\text{ mm}$ (slika) izmereni su mol% udeli ugljen-dioksida u mešavini, pri čemu je dobijeno $y_1=25\text{ mol\%}$ i $y_2=15\text{ mol\%}$. Koeficijent difuzije ugljen-dioksida kroz vazduh pri radnim uslovima je $D=0.82 \cdot 10^{-5}\text{ m}^2/\text{s}$.

- odrediti mol% udela komponente A, ako se smatra da je difuzija ekvimolarna i suprotnosmerna
- odrediti mol% udela komponente A za slučaj da pritisak i temperatura isnose $p'=101.3\text{ kPa}$ i $T'=350\text{ K}$
- predstaviti proces ekvimolarnu i suprotnosmernu difuziju u y-z koordinatnom sistemu



a)

$$n_A = \frac{y_{A1} - y_{A2}}{\frac{z}{D}} \cdot \frac{p}{R_u \cdot T} = \frac{0.25 - 0.15}{3 \cdot 10^{-3}} \cdot \frac{202.6 \cdot 10^3}{8315 \cdot 298} = 2.24 \cdot 10^{-5} \frac{\text{kmolA}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}$$

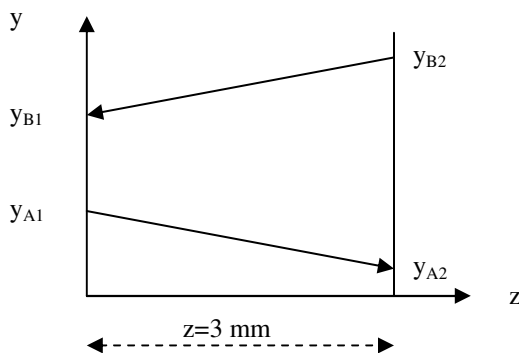
b)

Pri promeni pritiska i temperature dolazi do promene koeficijenta difuzije, D

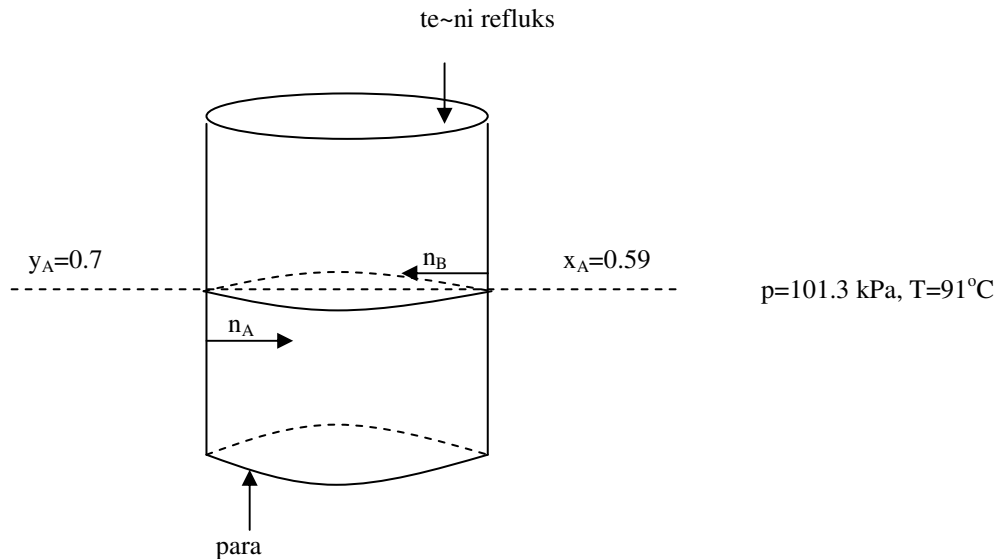
$$D' = D \cdot \left(\frac{T'}{T}\right)^{1.75} \cdot \frac{p}{p'} = 0.82 \cdot 10^{-5} \cdot \left(\frac{350}{298}\right)^{1.75} \cdot \frac{202.6}{101.3} = 2.73 \cdot 10^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$n_{A''} = \frac{y_{A1} - y_{A2}}{\frac{z}{D'}} \cdot \frac{p'}{R_u \cdot T'} = \frac{0.25 - 0.15}{3 \cdot 10^{-3}} \cdot \frac{101.3 \cdot 10^3}{8315 \cdot 350} = 3.17 \cdot 10^{-5} \frac{\text{kmolA}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}$$

c)



1.2. Rektifikaciona kolona u obliku duge vertikalne cevi služi za razdvajanje idealne binarne smeše benzola (B) i toluola (A). U jednom poprečnom preseku cevi para sadrži 70 mol% benzola, a tečni refluks sadrži 59 mol% benzola. Temperatura na ovom mestu u cevi iznosi $T=91^{\circ}\text{C}$, a apsolutni pritisak u sistemu je $p=101.3\text{ kPa}$. Difuzioni otpor prenosu mase između granične površine para-tečnosti i glavnog toka gasa ekvivalentan je difuzionom otporu mirujućeg sloja gasa debljine $z=2.5\text{ mm}$. Koeficijent difuzije iznosi $D=5.1\cdot 10^{-6}\text{ m}^2/\text{s}$, a napon pare toluola na temperaturi od 91°C iznosi $p_A^{\phi}=53.9\text{ kPa}$. Odrediti maseni fluks toluola koji prelazi iz parne faze u tečnu fazu.



$$p_{A1} = y_1 \cdot P = (1 - 0.7) \cdot 101.3 \cdot 10^3 = 30.39 \cdot 10^3 \text{ Pa}$$

$$p_{A2} = x_2 \cdot p_A^{\phi} = (1 - 0.59) \cdot 53.9 \cdot 10^3 = 22.1 \cdot 10^3 \text{ Pa}$$

$$n_A = \frac{p_{A1} - p_{A2}}{\frac{z}{D}} \cdot \frac{1}{R_u \cdot T} = \frac{30.39 \cdot 10^3 - 22.1 \cdot 10^3}{\frac{2.5 \cdot 10^{-3}}{5.1 \cdot 10^{-6}}} \cdot \frac{1}{8315 \cdot 364} = 5.59 \cdot 10^{-6} \frac{\text{kmolA}}{\text{m}^2\text{s}}$$

$$\bar{n}_A = n_A \cdot M_A = 5.59 \cdot 10^{-6} \cdot 92 = 5.14 \cdot 10^{-4} \frac{\text{kgA}}{\text{m}^2\text{s}}$$

$$n_A - \text{ molski fluks toluola u posmatranom preseku kolone} \quad \frac{\text{kmolA}}{\text{m}^2\text{s}}$$

$$\bar{n}_A - \text{ maseni fluks toluola u posmatranom preseku kolone} \quad \frac{\text{kgA}}{\text{m}^2\text{s}}$$

$$M_A = 92 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}} \quad (\text{molska masa toluola})$$

1.3. Amonijak (A) difunduje kroz sloj vazduha (B-stagnat) izmelu preseka 1 i 2, debljine $z=1$ mm.

Molski udeo amonijaka u presku 1 iznosi $y_{A1}=0.05 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmol(A+B)}}$, a u presku 2 količina amonijaka je

zanemarljivo mala. Koeficijent difuzije amonijaka kroz vazduh pri radnim uslovima iznosi $D=2.27 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$. Temperatura mešavine iznosi $T=295 \text{ K}$, a apsolutni pritisak $p=101.3 \text{ kPa}$.

- a) odrediti maseni fluks amonijaka kroz vazduh
 b) napisati jednačinu koja opisuje promenu parcijalnog pritiska amonijaka u mešavini duž puta transporta materije, $p_A=f(z)$

a)

$$p_{A1} = y_{A1} \cdot p = 0.05 \cdot 101.3 \cdot 10^3 = 5.06 \cdot 10^3 \text{ Pa}$$

$$p_{A2} = y_{A2} \cdot p = 0 \cdot 101.3 \cdot 10^3 = 0 \text{ Pa}$$

$$p_{B1} = p - p_{A1} = 101.3 \cdot 10^3 - 5.06 \cdot 10^3 = 96.24 \cdot 10^3 \text{ Pa}$$

$$p_{B2} = p - p_{A2} = 101.3 \cdot 10^3 - 0 = 101.3 \cdot 10^3 \text{ Pa}$$

$$p_{B\ln} = \frac{p_{B1} - p_{B2}}{\ln \frac{p_{B1}}{p_{B2}}} = \frac{96.24 \cdot 10^3 - 101.3 \cdot 10^3}{\ln \frac{96.24 \cdot 10^3}{101.3 \cdot 10^3}} = 98.75 \cdot 10^3 \text{ Pa}$$

$$n_A = \frac{p_{A1} - p_{A2}}{D} \cdot \frac{1}{R_u \cdot T} \cdot \frac{p}{p_{B\ln}} = \frac{5.065 \cdot 10^3 - 0}{2.27 \cdot 10^{-5}} \cdot \frac{1}{8315 \cdot 295} \cdot \frac{101.3 \cdot 10^3}{98.75 \cdot 10^3}$$

$$n_A = 4.8 \cdot 10^{-5} \frac{\text{kmolA}}{\text{m}^2\text{s}}, \quad \bar{n}_A = n_A \cdot M_A = 4.8 \cdot 10^{-5} \cdot 17 = 8.16 \cdot 10^{-4} \frac{\text{kgA}}{\text{m}^2\text{s}}$$

$$M_A = 17 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}} \quad (\text{molska masa amonijaka})$$

b)

$$n_A = \frac{p_{A1} - p_A}{\left(\frac{R \cdot T \cdot z}{D} \cdot \frac{p_{B\ln}}{p} \right)} = \frac{p_{A1} - p_A}{\left(\frac{R \cdot T \cdot z}{D} \cdot \frac{1}{p} \cdot \frac{p_{B1} - p_{B2}}{\ln \frac{p_{B1}}{p_{B2}}} \right)} = \frac{\ln \frac{p_B}{p_{B1}}}{\left(\frac{R \cdot T \cdot z}{D} \cdot \frac{1}{p} \right)} \Rightarrow$$

$$\ln \frac{p_B}{p_{B1}} = \left(\frac{R \cdot T \cdot z}{D} \cdot \frac{1}{p} \right) \Rightarrow p_B = p_{B1} \cdot \exp\left(\frac{R \cdot T \cdot z}{D} \cdot \frac{1}{p} \right) \Rightarrow$$

$$p - p_A = p_{B1} \cdot \exp\left(\frac{R \cdot T \cdot z}{D} \cdot \frac{1}{p} \right) \quad p_A = p - p_{B1} \cdot \exp\left(\frac{R \cdot T \cdot z}{D} \cdot \frac{1}{p} \right)$$

$$p_A = 101.3 \cdot 10^3 - 96.24 \cdot 10^3 \cdot \exp\left(\frac{8315 \cdot 295 \cdot z}{2.27 \cdot 10^{-5}} \cdot \frac{1}{101.3 \cdot 10^3} \right)$$

$$p_A = 101.3 \cdot 10^3 - 96.24 \cdot 10^3 \cdot \exp(51.2 \cdot z)$$

1.4. Sloj benzola ($\rho=880 \text{ kg/m}^3$) debljine $\delta=1 \text{ mm}$ nalazi se na dnu otvorenog rezervoara prečnika $D=5 \text{ m}$. Temperatura okolnog vazduha (B) i benzola (A) u rezervoaru iznosi $T=295 \text{ K}$. Koeficijent difuzije para benzola kroz vazduh i napon pare benzola na zadatoj temperaturi iznose $D=8 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$, $p_A^\phi=13.3 \text{ kPa}$. Ako je merenjem ustanovljeno da je na rastojanju od $z=3 \text{ mm}$ koncentracija benzola u vazduhu praktično jednaka nuli i ako atmosferski pritisak iznosi $p=101.3 \text{ kPa}$, odrediti vreme potrebno da ispari navedena količina benzola.

N_A — količina benzola u rezervoaru (kmol)
 M_A — molekulska masa benzola (78 kg/kmol)

$$N_A = \rho \cdot \frac{D^2 \cdot \pi}{4} \cdot \delta \cdot \frac{1}{M_A} = 880 \cdot \frac{5^2 \cdot \pi}{4} \cdot 1 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{1}{78} = 0.22 \text{ kmol}$$

$$p_{A1} = x \cdot p_A^\phi = 1 \cdot 13.3 \cdot 10^3 = 13.3 \cdot 10^3 \text{ Pa}$$

$$p_{A2} = 0 \text{ Pa}$$

$$p_{B1} = p - p_{A1} = 101.3 \cdot 10^3 - 13.3 \cdot 10^3 = 88 \cdot 10^3 \text{ Pa}$$

$$p_{B2} = p - p_{A2} = 101.3 \cdot 10^3 - 0 = 101.3 \cdot 10^3 \text{ Pa}$$

$$p_{B \ln} = \frac{p_{B1} - p_{B2}}{\ln \frac{p_{B1}}{p_{B2}}} = \frac{88 \cdot 10^3 - 101.3 \cdot 10^3}{\ln \frac{88 \cdot 10^3}{101.3 \cdot 10^3}} = 94.5 \cdot 10^3 \text{ Pa}$$

$$n_A = \frac{p_{A1} - p_{A2}}{z} \cdot \frac{1}{R_u \cdot T} \cdot \frac{1}{p_{B \ln}} = \frac{13.3 \cdot 10^3 - 0}{3 \cdot 10^{-3}} \cdot \frac{1}{8315 \cdot 295} \cdot \frac{101.3}{94.5} = 1.55 \cdot 10^{-5} \frac{\text{kmolA}}{\text{m}^2 \text{s}}$$

$$\dot{n}_A = n_A \cdot \frac{D^2 \cdot \pi}{4} = 1.55 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{5^2 \cdot \pi}{4} = 30.43 \cdot 10^{-5} \frac{\text{kmolA}}{\text{s}}$$

$$\tau = \frac{N_A}{\dot{n}_A} = \frac{0.22}{30.43 \cdot 10^{-5}} = 723 \text{ s}$$

\dot{n}_A — molski protok benzola koji isparava kmolA/s

zadatak za vežbanje: (1.5.)

1.5. Sloj vode debljine $\delta=1 \text{ mm}$ konstantne temperature $t=20^\circ\text{C}$ dovodi se u kontakt sa suvim vazduhom ($p=1 \text{ bar}$, $t=20^\circ\text{C}$). Ako se isparavanje vode vrši molekularnom difuzijom kroz film vazduha (stagnat) debljine $z=5 \text{ mm}$, izračunati vreme potrebno za potpuno isparavanje vode.

Napon pare vode ($t=20^\circ\text{C}$) iznosi: $p^\phi=0.02337 \text{ bar}$

Koeficijent difuzije vodene pare kroz vazduh ($t=20^\circ\text{C}$) iznosi: $D=2.58 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$

rešenje: $\tau=10800 \text{ s}$ (3 h)

1.6. Sa dve strane vodenog (B) filma, debljine $z=2$ mm i temperature $t=18^{\circ}\text{C}$, nalaze se rasvor NaCl (B) koncentracija $x_{A1}=0.071 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmol(A+B)}}$ i $x_{A2}=0.033 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmol(A+B)}}$. Gustine rastvora NaCl u vodi

na temperaturi od $t=18^{\circ}\text{C}$, pri zadatim koncentracijama, iznose $\rho_1=1219 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ i $\rho_2=1019 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$.

Koeficijent difuzije NaCl (A) kroz vodu (B) pri radnim uslovima iznosi $D=1.34 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$. Odrediti molski fluks NaCl koja se transportuje kroz vodeni film (stagnat).

$$n_A = \frac{C_{A1} - C_{A2}}{z} \cdot \frac{C}{C_{B \ln}} = \dots = \frac{4.139 - 1.738}{2 \cdot 10^{-3}} \cdot \frac{55.5}{1.34 \cdot 10^{-9}} = 1.7 \cdot 10^{-6} \frac{\text{kmolA}}{\text{m}^2\text{s}}$$

$$C_{A1} = x_{A1} \cdot \frac{\rho_1}{M_1} = \dots = 0.071 \cdot \frac{1219}{20.91} = 4.139 \frac{\text{kmolA}}{\text{m}^3(\text{A+B})}$$

$$C_{A2} = x_{A2} \cdot \frac{\rho_2}{M_2} = \dots = 0.033 \cdot \frac{1019}{19.35} = 1.738 \frac{\text{kmolA}}{\text{m}^3(\text{A+B})}$$

$$M_1 = x_{A1} \cdot M_A + (1 - x_{A1}) \cdot M_B = 0.071 \cdot 59 + (1 - 0.071) \cdot 18 = 20.91 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}}$$

$$M_2 = x_{A2} \cdot M_A + (1 - x_{A2}) \cdot M_B = 0.033 \cdot 59 + (1 - 0.033) \cdot 18 = 19.35 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}}$$

$$C = \frac{C_1 + C_2}{2} = \frac{C_{A1} + C_{B1} + C_{A2} + C_{B2}}{2} = \dots$$

$$C_{B1} = (1 - x_{A1}) \cdot \frac{\rho_1}{M_1} = (1 - 0.071) \cdot \frac{1219}{20.91} = 54.158 \frac{\text{kmolA}}{\text{m}^3(\text{A+B})}$$

$$C_{B2} = (1 - x_{A2}) \cdot \frac{\rho_2}{M_2} = (1 - 0.033) \cdot \frac{1019}{19.35} = 50.924 \frac{\text{kmolA}}{\text{m}^3(\text{A+B})}$$

$$C = \frac{4.139 + 54.158 + 1.738 + 50.924}{2} = 55.5 \frac{\text{kmolA}}{\text{m}^3(\text{A+B})}$$

$$C_{B \ln} = \frac{C_{B1} - C_{B2}}{\ln \frac{C_{B1}}{C_{B2}}} = \frac{54.158 - 50.924}{\ln \frac{54.158}{50.924}} = 52.524 \frac{\text{kmoB}}{\text{m}^3(\text{A+B})}$$

2. KONVEKTIVNA DIFUZIJA

$$n_A = \frac{\text{pokreta} \sim \text{ka sila}}{\text{otpor}}$$

A. ekvimolarna suprotnosmerna konvektivna difuzija:

	pokreta~ka sila	otpor
gasna faza	Δp	$\frac{1}{\beta'_p}$
	ΔC	$\frac{1}{\beta'_c}$
	Δy	$\frac{1}{\beta'_y}$
te~na faza	ΔC	$\frac{1}{\beta'_c}$
	Δx	$\frac{1}{\beta'_x}$

β' – koeficijent suprotnosmernog konvektivnog prenosa mase, $\frac{\text{kmolA}}{\text{m}^2\text{s} \cdot (\text{JPS})}$

JPS – jedinica pokreta~ke sile konvektivnog prenosa mase

Veze izmelu koeficijenta suprotnosmernog konvektivnog prenosa mase u raznim koordinatnim sistemima:

gasna faza:

$$1. \quad \beta'_y = \beta'_p \cdot p \qquad 2. \quad \beta'_c = \beta'_p \cdot R_u \cdot T$$

te~na faza:

$$1. \quad \beta'_x = \beta'_c \cdot C$$

B. jednosmerna konvektivna difuzija:

	pokreta~ka sila	otpor
gasna faza	Δp	$\frac{1}{\beta_p}$
	Δy	$\frac{1}{\beta_y}$
te~na faza	ΔC	$\frac{1}{\beta_C}$
	Δx	$\frac{1}{\beta_x}$

β – koeficijent jednosmernog konvektivnog prenosa mase, $\frac{\text{kmolA}}{\text{m}^2\text{s} \cdot (\text{JPS})}$

JPS – jedinica pokreta~ke sile konvektivnog prenosa mase

Veze izmelu koeficijenta jednosmernog konvektivnog prenosa mase u raznim koordinatnim sistemima:

gasna faza:

$$1. \quad \beta_y = \beta_p \cdot p \qquad 2. \quad \beta_C = \beta_p \cdot R_u \cdot T$$

te~na faza:

$$2. \quad \beta_x = \beta_C \cdot C$$

Veze izmelu koeficijenta jednosmernog konvektivnog prenosa mase (β) i suprotnosmernog konvektivnog prenosa mase (β'):

$$1. \quad \beta_p = \beta'_p \cdot \frac{p}{p_{\text{Blin}}} \qquad 2. \quad \beta_y = \beta'_y \cdot \frac{1}{y_{\text{Blin}}}$$

$$3. \quad \beta_C = \beta'_C \cdot \frac{C}{C_{\text{Blin}}} \qquad 4. \quad \beta_x = \beta'_x \cdot \frac{1}{x_{\text{Blin}}}$$

Odreivanje koeficijenta konvektivnog prenosa mase
upotrebom kriterijalnih jednačina za [ervudov broj (Sh)]

1. korak odreivanje termofizičkih konstanti za fluid (D, ν_f, ρ_f, μ_f)

U ovom koraku se u odgovarajućim termodinamičkim tablicama pronađu vrednosti termofizičkih konstanti za fluid. Vrednosti se pronađu iz termodinamičke tablice za srednju temperaturu fluida.

2. korak: odreivanje karakteristične dužine površine faze (l_{ek})

Pri odreivanju karakteristične dužine nije od značaja geometrijska orijentacija površine faze u prostoru (horizontalna ili vertikalna) već samo geometrijski oblik površine faze (ravna, cilindrična ili sferna površina)

	l_{ek}	opis karakteristične dužine
strujanje preko ravnih površina (opstrujavanje ravnih površina)	$\rightarrow \Gamma$	geometrijska dimenzija u pravcu strujanja (dužina, širina ili visina)
strujanje preko cilindrične površine (opstrujavanje cilindrične površine)	d_s	spoljašnji prečnik cilindra
strujanje preko sferične površine (opstrujavanje sferične površine)	d	prečnik sfere
strujanje kroz cevi	d_u	unutrašnji prečnik cevi

3. korak: odreivanje potrebnih kriterijuma sličnosti

Re – Rejnoldsov broj $Re_f = \frac{\rho_f \cdot w \cdot l_{ek}}{\mu_f} = \frac{w \cdot l_{ek}}{\nu_f}$

Sc – [mitov broj $Sc_f = \frac{\mu_f}{\rho_f \cdot D} = \frac{\nu_f}{D}$

4. korak izračunavanje [ervudovog broja (Sh_f)

4.1. Strujanje preko (opstrujavanje) ravnih površina

$$Sh_f = 0.664 \cdot Re_f^{0.5} \cdot Sc_f^{0.33} \quad (Re_f < 5 \cdot 10^5)$$

$$Sh_f = 0.037 \cdot Re_f^{0.8} \cdot Sc_f^{0.33} \quad (Re_f > 5 \cdot 10^5)$$

4.2. Strujanje kroz cevi

$$Sh_f = 1.86 \cdot Re_f^{0.33} \cdot Sc_f^{0.33} \cdot \left(\frac{l_{ek}}{d}\right)^{0.33} \quad (Re_f < 2300)$$

$$Sh_f = 0.023 \cdot Re_f^{0.83} \cdot Sc_f^{0.33} \quad (2300 < Re_f)$$

4.3. Opstrujavanje cevi

$$\text{Sh}_f = 0.683 \cdot \text{Re}_f^{0.47} \cdot \text{Sc}_f^{0.33} \quad (4 \cdot 10^1 < \text{Re}_f < 4 \cdot 10^3)$$

$$\text{Sh}_f = 0.193 \cdot \text{Re}_f^{0.62} \cdot \text{Sc}_f^{0.33} \quad (4 \cdot 10^3 < \text{Re}_f < 4 \cdot 10^4)$$

$$\text{Sh}_f = 0.027 \cdot \text{Re}_f^{0.8} \cdot \text{Sc}_f^{0.33} \quad (4 \cdot 10^4 < \text{Re}_f < 4 \cdot 10^5)$$

4.4. Opstrujavanje sfera

$$\text{Sh}_f = 2 + 0.6 \cdot \text{Re}_f^{0.5} \cdot \text{Sc}_f^{0.33} \quad (1 < \text{Re}_f < 7 \cdot 10^4)$$

4.5. Strujanje kroz porozne slojeve

$$\text{Sh}_f = 2 + 1.8 \cdot \left(\frac{\text{Re}_f}{1-\varepsilon} \right)^{0.5} \cdot \text{Sc}_f^{0.33} \quad (80 < \frac{\text{Re}_f}{1-\varepsilon})$$

5. korak izračunavanje koeficijenta konvektivnog prenosa mase (β_C')

$$\beta_C' = \text{Sh}_f \cdot \frac{D}{l_{ek}}$$

Određivanje koeficijenta konvektivnog prenosa mase
upotrebom Kolburnove analogije

Praktična razlika u odnosu na prethodno navedeni postupak je u tome što Kolburn kriterijalne jednačine za [Nusseltov broj (4. korak) transformirane (upotrebom jednostavnih algebarskih transformacija) u jednačinu oblika $f(\text{Sh}_f, \text{Sc}_f, \text{Re}_f) = \text{const} \cdot \text{Re}_f^m$ pri čemu te nove jednačine predstavlja u Y, X koordinatnom sistemu u grafičkom obliku. Pri tome na X osu nanosi vrednosti za Re_f , a na Y osu nanosi vrednosti za $f(\text{Sh}_f, \text{Sc}_f, \text{Re}_f)$. Vrednost sa Y ose u literaturi je poznata kao j_D ("Nusseltov faktor za prenos mase").

4.1. Strujanje preko (opstrujavanje) ravnih površina

$$j_D = \frac{\text{Sh}_f}{\text{Re}_f \cdot \text{Sc}_f^{0.33}} = 0.664 \cdot \text{Re}_f^{-0.5} \quad (\text{Re}_f < 5 \cdot 10^5)$$

$$j_D = \frac{\text{Sh}_f}{\text{Re}_f \cdot \text{Sc}_f^{0.33}} = 0.037 \cdot \text{Re}_f^{-0.2} \quad (\text{Re}_f > 5 \cdot 10^5)$$

4.2. Strujanje kroz cevi

$$j_D = \frac{Sh_f}{Re_f \cdot Sc_f^{0.33}} = 0.023 \cdot Re_f^{-0.17} \quad (2300 < Re_f)$$

4.3. Opstrujavanje cevi

$$j_D = \frac{Sh_f}{Re_f \cdot Sc_f^{0.33}} = 0.683 \cdot Re_f^{-0.53} \quad (4 \cdot 10^1 < Re_f < 4 \cdot 10^3)$$

$$j_D = \frac{Sh_f}{Re_f \cdot Sc_f^{0.33}} = 0.193 \cdot Re_f^{-0.38} \quad (4 \cdot 10^3 < Re_f < 4 \cdot 10^4)$$

$$j_D = \frac{Sh_f}{Re_f \cdot Sc_f^{0.33}} = 0.027 \cdot Re_f^{-0.2} \quad (4 \cdot 10^4 < Re_f < 4 \cdot 10^5)$$

4.4. Opstrujavanje sfera

$$j_D = \frac{Sh_f - 2}{Re_f \cdot Sc_f^{0.33}} = 0.6 \cdot Re_f^{-0.5} \quad (1 < Re_f < 7 \cdot 10^4)$$

4.5. Strujanje kroz porozne slojeve

$$j_D = \frac{Sh_f - 2}{\left(\frac{Re_f}{1 - \varepsilon}\right) \cdot Sc_f^{0.33}} = 1.8 \cdot \left(\frac{Re_f}{1 - \varepsilon}\right)^{-0.5} \quad (80 < \frac{Re_f}{1 - \varepsilon})$$

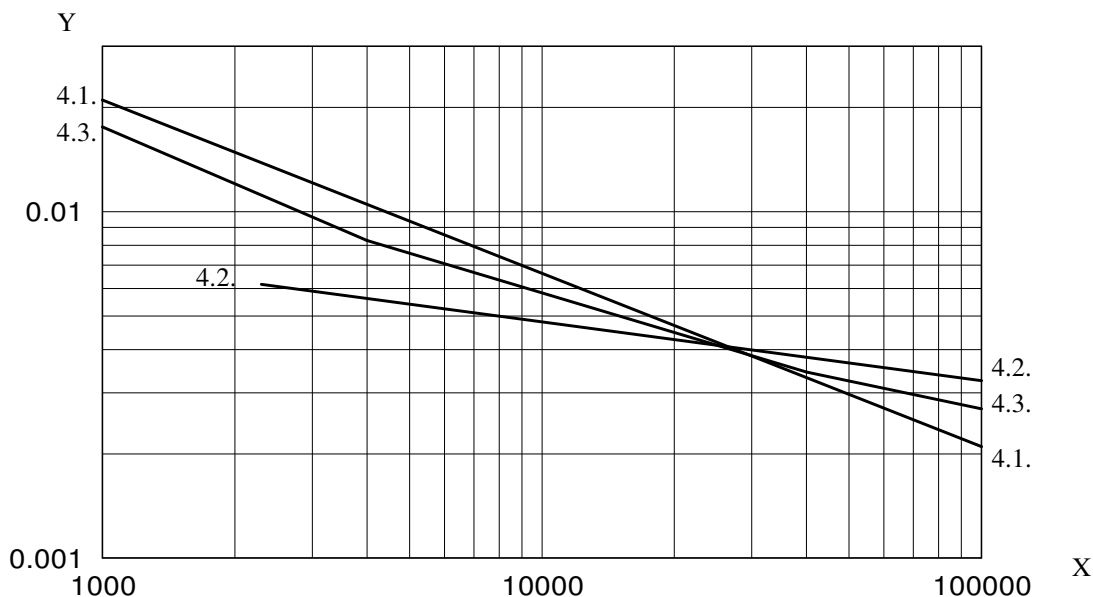
5. korak izra~unavanje koeficijenta konvektivnog prenosa mase (β'_C)

$$\beta'_C = j_D \cdot Re_f \cdot Sc_f^{0.33} \cdot \frac{D}{l_{ek}} \quad (\text{za slu~ajeve 4.1. - 4.3.})$$

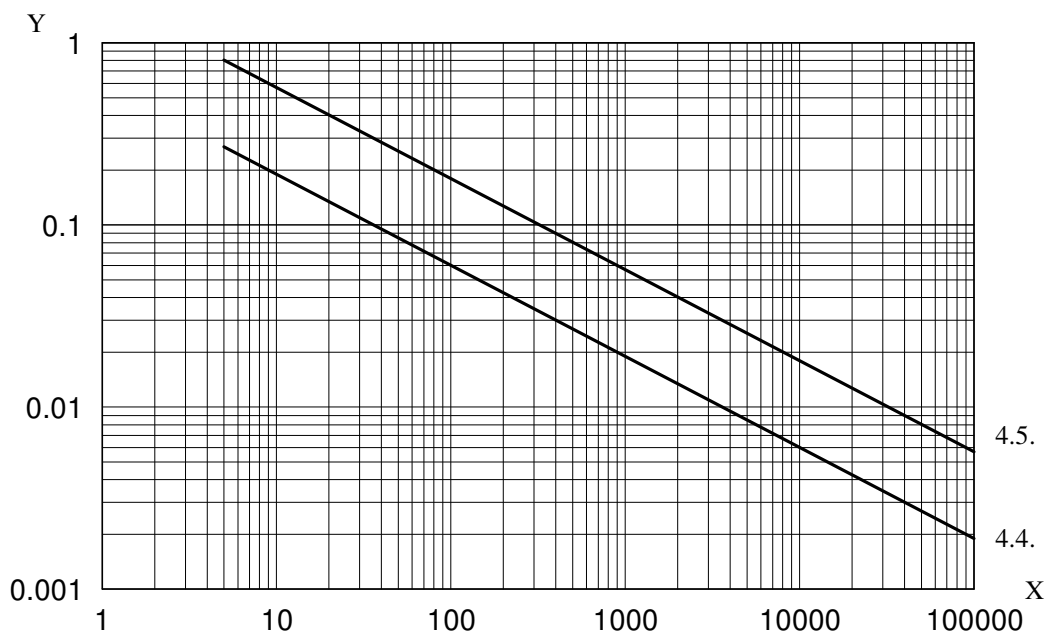
$$\beta'_C = \left(j_D \cdot \frac{Re_f}{1 - \varepsilon} \cdot Sc_f^{0.33} + 2 \right) \cdot \frac{D}{l_{ek}} \quad (\text{za slu~ajeve 4.4. - 4.5.})$$

napomena: Grafi~ki prikaz jedna~ina $j_D = f(Re_f)$, tj $Y=f(X)$, za navedene slu~ajeve strujanja od 4.1. do 4.5. nalazi se na sledejoj strani.

Slu~ajevi strujanja 4.1, 4.2. i 4.3.



Slu~ajevi strujanja 4.4 i 4.5.



napomena: U slu~aju 4.5. (strujanje kroz porozan sloj) na X osi se nalazi vrednost za modifikovani Rejnoldsov broj tj. $X = Re_r / (1 - \epsilon)$.

1. Primena konvektivne difuzije na proces isparavanja ~iste te~nosti A u okolni vla`an vazduh (npr. isparavanje vode sa slobodne povr{ine vode ili isparavanje vode sa povr{ine ~vrstih materijala u procesu su{enja u fazi konstantne brzine su{enja)

$$n_A = \frac{p^\theta - p_{H_2O}}{\beta_p}$$

n_A	– molski fluks te~nosti A	$\left(\frac{\text{kmolA}}{\text{m}^2\text{s} \cdot \text{Pa}} \right)$
p^θ	– napon pare ~iste te~nosti A na temperaturi te~nosti A	(Pa)
p_{H_2O}	– parcijalni pritisak vodene pare u okolnom vla`nom vazduhu	(Pa)
β_p	– koeficijent jednosmernog konvektivnog prenosa mase	$\left(\frac{\text{kmolA}}{\text{m}^2\text{s} \cdot \text{Pa}} \right)$

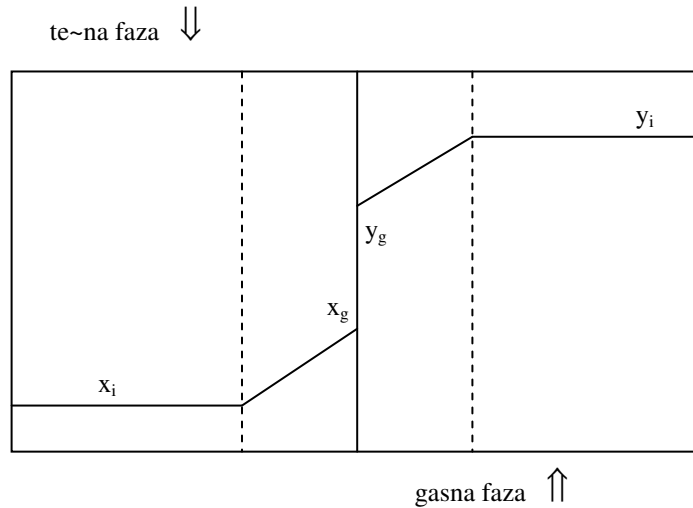
2. Primena konvektivne difuzije na proces isparavanja komponente A iz te~ne dvokomponentne me{avine (A+B) u okolnu gasnu fazu (npr. isparavanje lak{e isparljive komponentne iz te~nog refluksa u procesu rektifikacije):

$$n_A = \frac{x_A \cdot p^\theta - y \cdot p}{\beta'_p}$$

n_A	– molski fluks te~nosti A	$\left(\frac{\text{kmolA}}{\text{m}^2\text{s} \cdot \text{Pa}} \right)$
p^θ	– napon pare ~iste komponente A na temperaturi te~ne faze	(Pa)
p	– ukupan pritisak u sistemu	
x_A	– molski udeo komponente A u te~noj fazi	
y_A	– molski udeo komponente A u gasnoj fazi	
β'_p	– koeficijent suprotnosmernog konvektivnog prenosa mase	$\left(\frac{\text{kmolA}}{\text{m}^2\text{s} \cdot \text{Pa}} \right)$

3. Primena konvektivne difuzije na proces apsorpcije (transport materije iz gasne u te~nu fazu) komponente A iz dvokomponentne gasne me{avine (A+B) u neisparljivu te~nost.

Presek I apsorpcione kolone:



$$n_A = \frac{y_A^i - y_A^g}{\beta_y} = \frac{p_A^i - p_A^g}{\beta_p} = \frac{x_A^g - x_A^i}{\beta_x} = \frac{C_A^g - C_A^i}{\beta_C}$$

y_A^i – molski udeo komponente A u gasnoj fazi u I preseku kolone

x_A^i – molski udeo komponente A u te~noj fazi u I preseku kolone

y_A^g – molski udeo komponente A u gasnoj fazi na granici faza

x_A^g – molski udeo komponente A u te~noj fazi na granici faza

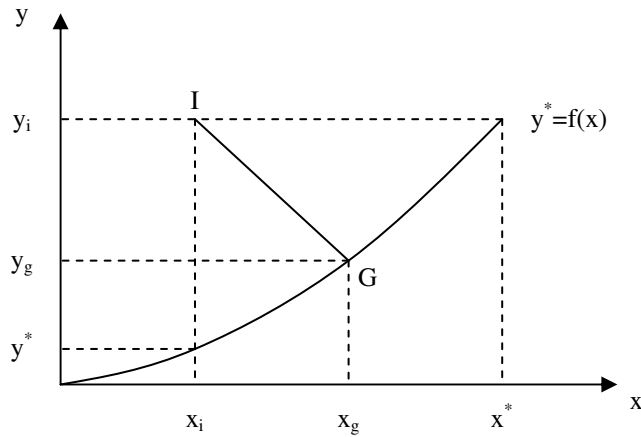
p_A^i – parcijalni pritisak komponente A u gasnoj fazi u I preseku kolone

C_A^i – molska koncentracija komponente A u te~noj fazi u I preseku kolone

p_A^g – parcijalni pritisak komponente A u gasnoj fazi na granici faza

C_A^g – molska koncentracija komponente A u te~noj fazi na granici faza

melufazni prenos mase:



$$n_A = \frac{y_A^i - y_A^*}{\frac{1}{K_y}} = \frac{p_A^i - p_A^*}{\frac{1}{K_p}} = \frac{x_A^* - x_A^i}{\frac{1}{K_x}} = \frac{C_A^* - C_A^i}{\frac{1}{K_C}}$$

K_y, K_p – koeficijenti ukupnog prolaza mase u gasnoj fazi izra`eni na jedinicu pokreta~ke sile u gasnoj fazi

K_x, K_C – koeficijenti ukupnog prolaza mase u te~noj fazi izra`eni na jedinicu pokreta~ke sile u te~noj fazi

$\frac{1}{K_y}, \frac{1}{K_p}$ – ukupan otpor prolazu mase izra`en na jedinicu pokreta~ke sile u gasnoj fazi

$\frac{1}{K_x}, \frac{1}{K_C}$ – ukupan otpor prolazu mase izra`en na jedinicu pokreta~ke sile u te~noj fazi

Koeficijent pravca operative prave proizvoljnog preseka I je $\text{tg } \alpha = -\frac{\beta_x}{\beta_y}$.

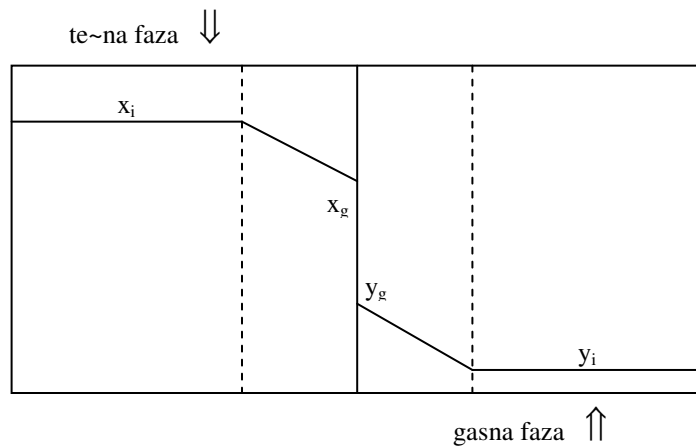
Ako se ravnote`ni uslovi mogu opisati jedna~inom prave linije $y^* = m \cdot x$ onda postoji ra~unska veza izmelu individualnih koeficijenata prelaza mase β_i i ukupnih koeficijenata prolaza mase K .

$$\frac{1}{K_y} = \frac{1}{\beta_y} + \frac{m}{\beta_x}$$

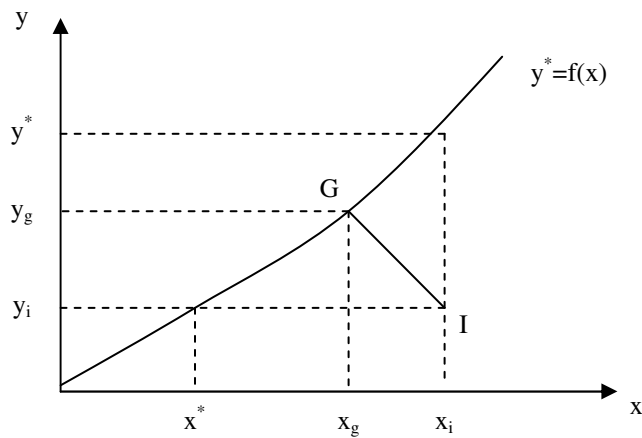
$$\frac{1}{K_x} = \frac{1}{m} \cdot \frac{1}{\beta_y} + \frac{1}{\beta_x}$$

- Primena konvektivne difuzije na proces desorpcije (transport materije iz te~ne u gasnu fazu) komponente A iz dvokomponentne te~ne me{avine (A+B) u gasnu fazu.

Presek I desorpcione kolone:



$$n_A = \frac{x_A^i - x_A^g}{\frac{1}{\beta_x}} = \frac{C_A^i - C_A^g}{\frac{1}{\beta_C}} = \frac{y_A^g - y_A^i}{\frac{1}{\beta_y}} = \frac{p_A^g - p_A^i}{\frac{1}{\beta_p}}$$



Koeficijent pravca operative prave proizvoljnog preseka I je $\text{tg } \alpha = -\frac{\beta_x}{\beta_y}$.

$$n_A = \frac{x_A^i - x_A^*}{\frac{1}{K_x}} = \frac{C_A^i - C_A^*}{\frac{1}{K_C}} = \frac{y_A^* - y_A^i}{\frac{1}{K_y}} = \frac{p_A^* - p_A^i}{\frac{1}{K_p}}$$

2.1. Apsorpcija sumpor-dioksida (A) iz vazduha (B) izvodi se vodom (C) u koloni sa okvaenim zidovima. Koeficijent prelaza mase u gasnoj fazi je $\beta_y = 1.6 \cdot 10^{-4} \frac{\text{kmolA}}{\text{m}^2\text{s}(\Delta y)}$, a koeficijent prelaza mase u

te~noj fazi $\beta_x = 1.1 \cdot 10^{-2} \frac{\text{kmolA}}{\text{m}^2\text{s}(\Delta x)}$. U jednom preseku kolone analiza uzorka je pokazala da je koli~ina

sumpor dioksida (A) u gasnoj fazi iznosi 20 mol%, a u te~noj fazi 0.2 mol%. Ravnote`a u sistemu defini~e se jedna~inom $y^* = 24.25 \cdot x$, gde su y i x molski udeli komponente A u gasovitoj (y) i te~noj fazi (x). Odrediti:

- sastave na granici faza, x_g, y_g
- molni fluks sumpor-dioksida, n_A
- koeficijente prolaza mase odrelene u odnosu na pogonsku silu procesa u gasnoj fazi (K_y) i te~noj fazi (K_x)

a)

jedna~ina pogonske prave na uo~enom preseku kolone:

$$y - y_i = -\frac{\beta_x}{\beta_y} \cdot (x - x_i) \qquad y - 0.2 = -\frac{1.1 \cdot 10^{-2}}{1.64 \cdot 10^{-4}} \cdot (x - 0.002)$$

$$y = -67.07 \cdot x + 0.33 \qquad (1)$$

jedna~ina ravnote`ne linije:

$$y^* = 24.25 \cdot x \qquad (2)$$

Re{avanjem sistema jedna~ina (1) i (2) dobija se sastav na granici faza:

$$x_g = 3.61 \cdot 10^{-3} \frac{\text{kmolA}}{\text{kmol(A + C)}}, \quad y_g = 8.76 \cdot 10^{-2} \frac{\text{kmolA}}{\text{kmol(A + B)}}$$

b)

$$n_A = \beta_y \cdot (y_i - y_g) = 1.6 \cdot 10^{-4} \cdot (0.2 - 0.0876) = 1.8 \cdot 10^{-5} \frac{\text{kmolA}}{\text{m}^2\text{s}}$$

c)

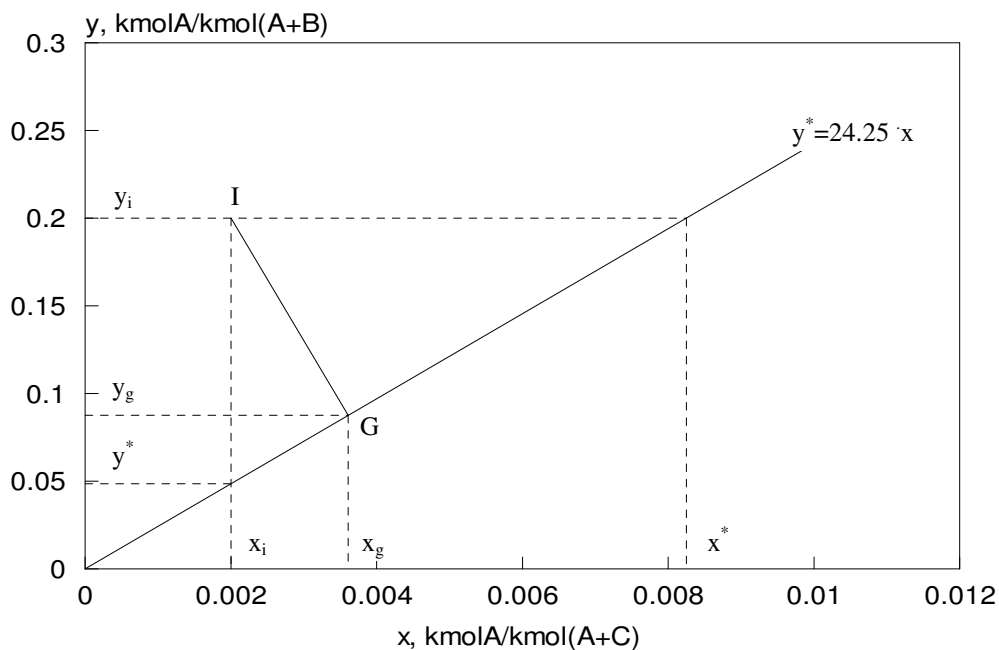
$$y^* = 24.25 \cdot x_i = 24.25 \cdot 0.002 = 0.0485 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmol(A+B)}}$$

$$n_A = K_y \cdot (y_i - y^*) \Rightarrow K_y = \frac{n_A}{(y_i - y^*)} = \frac{1.8 \cdot 10^{-5}}{(0.2 - 0.0485)} = 1.19 \cdot 10^{-4} \frac{\text{kmolA}}{\text{m}^2 \text{s}(\Delta y)}$$

$$y_i = 24.25 \cdot x^* \Rightarrow x^* = \frac{y_i}{24.25} = \frac{0.2}{24.25} = 8.25 \cdot 10^{-3} \frac{\text{kmolA}}{\text{kmol(A+C)}}$$

$$n_A = K_x \cdot (x^* - x_i) \Rightarrow K_x = \frac{n_A}{(x^* - x_i)} = \frac{1.8 \cdot 10^{-5}}{(8.25 - 2.0) \cdot 10^{-3}} = 2.88 \cdot 10^{-3} \frac{\text{kmolA}}{\text{m}^2 \text{s}(\Delta x)}$$

grafi~ka interpretacija re{enja:



2.2. Sme{a vazduha (B) i sumpor–dioksida (A) kontinualno se dovodi u kontakt sa vodom (C) u cilju uklanjanja sumpor–dioksida. Proces se izvodi na $p=101.3$ kPa. U jednom preseku apsorpcione kolone izmeren je parcijalni pritisak sumpor-dioksida u vazduhu od 2128 Pa i ukupni otpor prolazu mase od

$$R_x=340 \frac{m^2s(\Delta x)}{kmolA}$$

Pogonska prava u ovom preseku kolone definisana je jedna~inom:

$$y = -3 \cdot x + 0.036$$

gde su x i y molski udeli sumpor dioksida (A) u te~noj (x) i gasovitoj (y) fazi.

Ravnote`a u sistemu se defini{e tabelom:

x_A	0	0.005	0.010	0.015	0.020	0.025	0.030
p_A	0	810.4	1519.5	2127.3	2633.8	3140.3	3545.5

gde su:

$$x_A \quad - \text{ molski udeo komponente A u te~noj fazi} \quad \left(\frac{kmolA}{kmol(A + C)} \right)$$

$$p_A \quad - \text{ parcijalni pritisak komponente A u gasovitoj fazi} \quad (Pa)$$

Odrediti:

- sastave na granici faza, x_g, y_g
- maseni fluks sumpor-dioksida iz gasovite u te~nu fazu
- koeficijente prelaza mase u gasovitoj (β_y) i te~noj fazi (β_x)

a)

$$y_i = \frac{p_{Ai}}{p} = \frac{2128}{101.3 \cdot 10^3} = 0.021 \frac{kmolA}{kmol(A + B)}$$

$$x_i = \frac{y_i - 0.036}{-3} = \frac{0.021 - 0.036}{-3} = 0.005 \frac{kmolA}{kmol(A + C)}$$

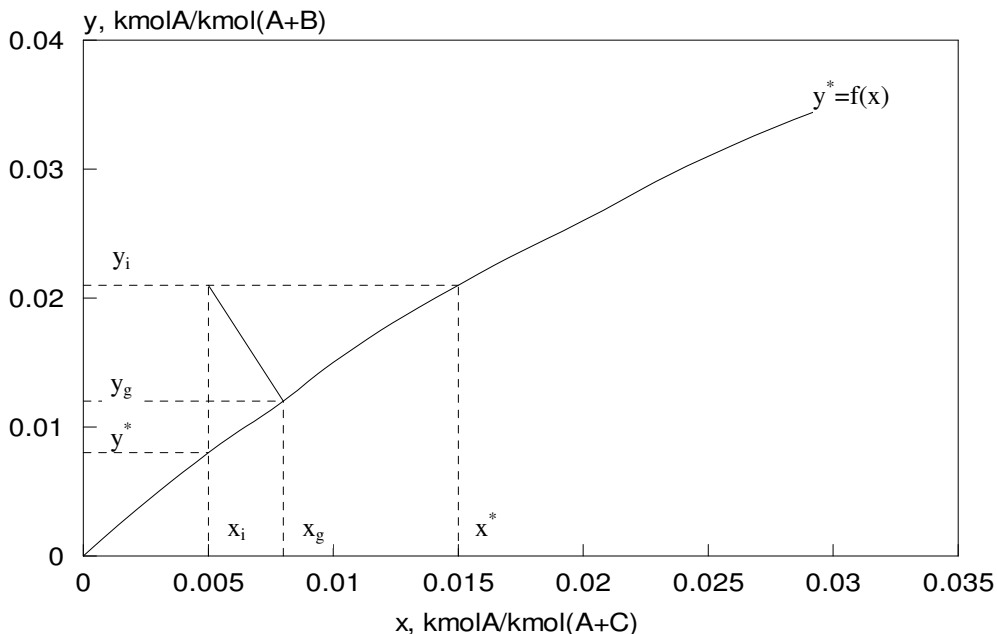
na osnovu zadatih tabelarnih vrednosti formira se nova ravnote`na raspodela u x, y koordinatnom sistemu:

x_A	0	0.005	0.010	0.015	0.020	0.025	0.030
y_A	0	0.008	0.015	0.021	0.026	0.031	0.035

procedura:

- na osnovu navedenih tabelarnih vrednosti konstrui{e se ravnote`ni dijagram $y^* = f(x)$
- zatim se konstrui{e radna prava sa koeficijentom pravca $tg\alpha = -3$ kroz ta~ku sa koordinatama ($x_i=0.005, y_i=0.021$)
- presekok radne prave sa ravnote`nom linijom defini{e sastav na granici faza

$$x_g=0.008 \frac{kmolA}{kmol(A + C)}, \quad y_g=0.012 \frac{kmolA}{kmol(A + B)}$$



b)

$$x^* = 0.015 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmol(A+C)}}, \quad y^* = 0.008 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmol(A+B)}}$$

Ove vrednosti se ~itaju sa dijagrama.

$$R_x = 340 \frac{\text{m}^2\text{s}(\Delta x)}{\text{kmolA}} \Rightarrow K_x = \frac{1}{R_x} = 2.94 \cdot 10^{-2} \frac{\text{kmolA}}{\text{m}^2\text{s}(\Delta x)}$$

$$n_A = K_x \cdot (x^* - x_i) = 2.94 \cdot 10^{-2} \cdot (0.015 - 0.005) = 2.94 \cdot 10^{-4} = \frac{\text{kmolA}}{\text{m}^2\text{s}}$$

$$\bar{n}_A = n_A \cdot M_A = 2.94 \cdot 10^{-4} \cdot 96 = 2.82 \cdot 10^{-2} \frac{\text{kgA}}{\text{m}^2\text{s}}$$

$$M_A = 96 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}}, \text{ molska masa sumpor-dioksida}$$

c)

$$\beta_y = \frac{n_A}{(y_i - y_g)} = \frac{2.94 \cdot 10^{-4}}{(21 - 12) \cdot 10^{-3}} = 3.27 \cdot 10^{-2} \frac{\text{kmolA}}{\text{m}^2\text{s}(\Delta y)}$$

$$\beta_x = \frac{n_A}{(x_g - x_i)} = \frac{2.94 \cdot 10^{-4}}{(8 - 5) \cdot 10^{-3}} = 9.8 \cdot 10^{-2} \frac{\text{kmolA}}{\text{m}^2\text{s}(\Delta x)}$$

2.3. Mešavina amonijaka (A) i vazduha (B) protiče kroz vertikalnu cev, pri čemu se niz zidove sliva voda (C). Na određenom nivou cevi molni udeo amonijaka u gasu iznosi $y=0.8 \text{ kmolA/kmol(A+B)}$, a molni udeo amonijaka u tečnosti iznosi $x=0.05 \text{ kmolA/kmol(A+C)}$. Sistem se nalazi na temperaturi od 30°C i pritisku od 101.3 kPa . Pri tim uslovima ravnoteža u sistemu se definiše tabelom:

$x, \text{ kmolA/kmol(A+C)}$	0	0.05	0.10	0.174	0.25	0.30
$y, \text{ kmolA/kmol(A+B)}$	0	0.07	0.14	0.362	0.59	0.92

Ako je otpor transportu materije u gasu 60% od ukupnih otpora transportu materije odrediti:

- a) lokalni molni fluks amonijaka, ako je koeficijent prelaza materije kroz tečnu fazu $\beta_x = 1.388 \cdot 10^{-6} \frac{\text{kmolA}}{\text{m}^2\text{s}(\Delta x)}$
- b) koeficijent konvektivnog prelaza mase u tečnoj fazi β_C , ako su molekulska masa i gustina tečnog rastvora približno jednake molekulskoj masi i gustini vode na istoj temperaturi
- c) koeficijente prolaza mase određene u odnosu na pogonsku silu procesa u gasnoj fazi (K_y) i tečnoj fazi (K_x)

a)

$$x^* = 0.28 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmol(A+C)}}, y^* = 0.07 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmol(A+B)}}, \text{ pročitano sa dijagrama}$$

$$\text{uslov zadatka: } \frac{\frac{1}{\beta_y}}{\frac{1}{K_y}} = 0.6 \Rightarrow \frac{K_y}{\beta_y} = 0.6$$

$$\beta_y \cdot (y_i - y_g) = K_y \cdot (y_i - y^*) \Rightarrow y_g = y_i - \frac{K_y}{\beta_y} \cdot (y_i - y^*)$$

$$y_g = 0.8 - 0.6 \cdot (0.8 - 0.07) = 0.362 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmol(A+B)}}$$

$$x_g = 0.174 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmol(A+C)}}, \text{ pročitano sa dijagrama}$$

$$n_A = \beta_x \cdot (x_g - x_i) = 1.388 \cdot 10^{-6} \cdot (0.174 - 0.05) = 1.72 \cdot 10^{-7} \frac{\text{kmolA}}{\text{m}^2\text{s}}$$

b)

$$\rho_{A+C} \equiv \rho_C = 995.7 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad M_{A+C} \equiv M_C = 18 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}}$$

$$C_i = x_i \cdot \frac{\rho}{M} = 0.05 \cdot \frac{995.7}{18} = 2.766 \frac{\text{kmolA}}{\text{m}^3(A+B)}$$

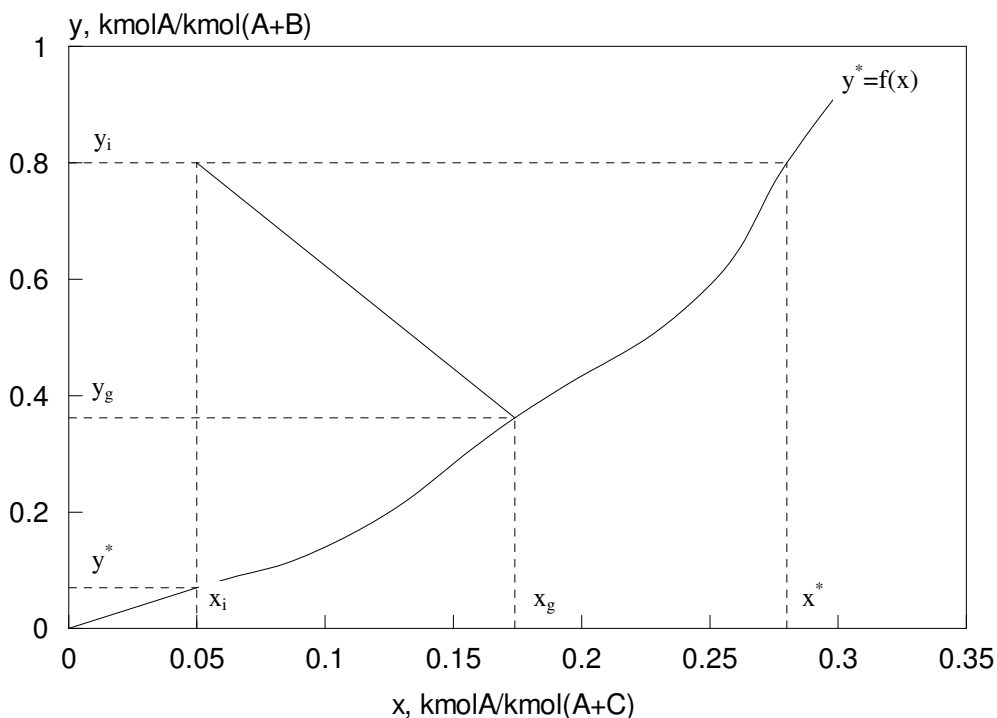
$$C_g = x_g \cdot \frac{\rho}{M} = 0.174 \cdot \frac{995.7}{18} = 9.625 \frac{\text{kmolA}}{\text{m}^3(A+B)}$$

$$\beta_C = \frac{n_A}{C_g - C_i} = \frac{1.72 \cdot 10^{-7}}{9.625 - 2.766} = 2.51 \cdot 10^{-8} \frac{\text{kmolA}}{\text{m}^2 \text{s}(\Delta C)}$$

b)

$$n_A = K_y \cdot (y_i - y^*) \Rightarrow K_y = \frac{n_A}{(y_i - y^*)} = \frac{1.72 \cdot 10^{-7}}{(0.8 - 0.07)} = 2.35 \cdot 10^{-7} \frac{\text{kmolA}}{\text{m}^2 \text{s}(\Delta y)}$$

$$n_A = K_x \cdot (x^* - x_i) \Rightarrow K_x = \frac{n_A}{(x^* - x_i)} = \frac{1.72 \cdot 10^{-7}}{(0.28 - 0.05)} = 7.47 \cdot 10^{-7} \frac{\text{kmolA}}{\text{m}^2 \text{s}(\Delta x)}$$



2.4. U apsorpcionoj koloni iz gasne sme{e (A+B) se vodom (C) apsorbuje komponenta A. Proces se izvodi pod uslovom jednakih otpora prelazu mase u gasnom i te~nom grani~nom sloju. U jednom preseku kolone parcijalni pritisak komponente A u gasnoj fazi iznosi $p_{A_i} = 5400 \text{ Pa}$, a molska

koncentracija komponente A u te-noj fazi iznosi $C_{Ai}=0.045 \text{ kmolA/m}^3$. Molski fluks komponente A u navedenom preseku kolone je $n_A=1.29 \cdot 10^{-4} \text{ kmolA/(m}^2\text{s)}$. Jedna~ina ravnote`ne linije glasi:

$p_A = 10.664 \cdot 10^4 \cdot C_A$, gde je p_A u Pa, a C_A u kmolA/m^3 . Odrediti:

- a) koeficijente prolaza mase u navedenom preseku, K_p, K_C
- b) koeficijente prelaza mase u navedenom preseku. β_p, β_C

a)

$$p_A^* = 10.664 \cdot 10^4 \cdot C_{Ai} = 10.664 \cdot 10^4 \cdot 0.045 = 4798.8 \text{ Pa}$$

$$n_A = K_p \cdot (p_{Ai} - p_A^*) \quad \Rightarrow \quad K_p = \frac{n_A}{p_{Ai} - p_A^*} = \frac{1.29 \cdot 10^{-4}}{5400 - 4798.8}$$

$$K_p = \frac{1.29 \cdot 10^{-4}}{5400 - 4798.8} = 2.15 \cdot 10^{-7} \frac{\text{kmolA}}{\text{m}^2\text{s}(\Delta p)}$$

$$C_A^* = \frac{p_{Ai}}{10.664 \cdot 10^4} \quad \Rightarrow \quad C_A^* = \frac{5400}{10.664 \cdot 10^4} = 0.051 \frac{\text{kmolA}}{\text{m}^3}$$

$$n_A = K_C \cdot (C_A^* - C_{Ai}) \quad \Rightarrow \quad K_C = \frac{n_A}{C_A^* - C_{Ai}}$$

$$K_C = \frac{1.29 \cdot 10^{-4}}{0.051 - 0.045} = 2.15 \cdot 10^{-2} \frac{\text{kmolA}}{\text{m}^2\text{s}(\Delta C)}$$

b)

$$\frac{1}{\frac{\beta_p}{1}} = 0.5 \quad \Rightarrow \quad \beta_p = \frac{K_p}{0.5} = 4.3 \cdot 10^{-7} \frac{\text{kmolA}}{\text{m}^2\text{s}(\Delta p)}$$

$$\frac{1}{\frac{\beta_C}{1}} = 0.5 \quad \Rightarrow \quad \beta_C = \frac{K_C}{0.5} = 4.3 \cdot 10^{-2} \frac{\text{kmolA}}{\text{m}^2\text{s}(\Delta C)}$$

2.5. U koloni sa punjenjem iz vazdu{ ne struje (A+B) apsorbuje se komponenta A pomo }u ~iste vode. Pri radnim uslovima ravnote`na raspodela komponente A izmelu gasne i te~ne faze definisana je jedna~inom: $p_A = 3 \cdot 10^6 \cdot C_A^2$, gde je p_A u Pa, a C_A u kmolA/m^3 . Ako vodeni rastvor u dva izabrana preseka kolone ima koncentraciju: $C_{A1}=0.01 \text{ kmolA/m}^3$ i $C_{A2}=0.08 \text{ kmolA/m}^3$. Gasna me{avina u istim presecima ima parcijalne pritiske komponente A za 20% ve}e od ravnote`nih za pomenute koncentracije. Za oba preseka kolone koeficijent pravca pogonske prave je konstantan i iznosi $-46.5 \text{ Pa}/(\text{kmolA/m}^3)$, a koeficijent prelaza sa strane gasa iznosi $\beta_p=2 \cdot 10^{-6} \text{ kmolA}/(\text{m}^2\text{s}(\Delta p))$. Odrediti pri kojoj koncentraciji rastvora }e apsorpcija biti br`a.

za oba preseka va`i:

$$\beta_p=2 \cdot 10^{-6} \frac{\text{kmolA}}{\text{m}^2\text{s}(\Delta p)} \quad -\frac{\beta_p}{\beta_C} = -46.5$$

za presek 1 va`i:

$$C_{A1}=0.01 \text{ kmolA/m}^3$$

$$p_{A1} = 1.2 \cdot 3 \cdot 10^6 \cdot C_{A1}^2 = 1.2 \cdot 3 \cdot 10^6 \cdot 0.01^2 = 360 \text{ Pa}$$

$$\text{jedna~ina pogonske prave: } p_A - p_{A1} = -\frac{\beta_C}{\beta_p} \cdot (C_A - C_{A1})$$

$$p_A - 360 = -46.5 \cdot (C_A - 0.01) \quad p_A = -46.5 \cdot C_A + 360.465 \quad (1)$$

$$\text{jedna~ina ravnote`ne linije: } p_A = 3 \cdot 10^6 \cdot C_A^2 \quad (2)$$

Re{avanjem sistema jedna~ina (1) i (2) dobija se sastav na granici faza:

$$p_{Ag}=359.71 \text{ Pa}, \quad C_{Ag}=0.01095 \frac{\text{kmolA}}{\text{m}^3}$$

$$n_{A1} = \beta_p \cdot (p_{A1} - p_{Ag}) = 2 \cdot 10^{-6} \cdot (360 - 359.71) = 5.8 \cdot 10^{-7} \frac{\text{kmolA}}{\text{m}^2\text{s}}$$

za presek 2 va`i:

$$C_{A2}=0.08 \text{ kmolA/m}^3$$

$$p_{A2} = 1.2 \cdot 3 \cdot 10^6 \cdot C_{A2}^2 = 1.2 \cdot 3 \cdot 10^6 \cdot 0.08^2 = 23040 \text{ Pa}$$

$$\text{jedna~ina pogonske prave: } p_A - p_{A2} = -\frac{\beta_C}{\beta_p} \cdot (C_A - C_{A2})$$

$$p_A - 23040 = -46.5 \cdot (C_A - 0.08) \quad p_A = -46.5 \cdot C_A + 23043.72 \quad (1)$$

$$\text{jedna~ina ravnote`ne linije: } p_A = 3 \cdot 10^6 \cdot C_A^2 \quad (2)$$

Re{avanjem sistema jedna~ina (1) i (2) dobija se sastav na granici faza:

$$p_{Ag}=23039.64 \text{ Pa, } C_{Ag}=0.08763 \frac{\text{kmolA}}{\text{m}^3}$$

$$n_{A2} = \beta_p \cdot (p_{A2} - p_{Ag}) = 2 \cdot 10^{-6} \cdot (23040 - 23039.64) = 7.2 \cdot 10^{-7} \frac{\text{kmolA}}{\text{m}^2\text{s}}$$

Kako je $n_{A2} > n_{A1}$ to zna~i da }e apsorpcija biti br`a u preseku 2, tj. pri koncentraciji C_{A2} u te~noj fazi.

2.6. U suprotnosmernoj koloni desorbuje se komponenta A iz te~ne sme{e (A+B). Gas ©©se na dno kolone dovodi ~ist (ne sadr`i komponentu A). Za dno kolone utvr{eno je da pogonska prava ima jedna~inu: $y = -1.33 \cdot x + 0.02$, gde su x i y molski udeli komponente A u te~noj (x) i gasnoj (y) fazi. Koeficijent prolaza mase u preseku na dnu kolone iznosi

$$K_x = 2.94 \cdot 10^{-3} \frac{\text{kmolA}}{\text{m}^2\text{s}(\Delta x)}. \text{ Odrediti za dno kolone:}$$

- molni fluks komponente A, $\frac{\text{kmolA}}{\text{m}^2\text{s}}$
- sastave na granici faza
- koeficijente konvektivnog prelaza mase u te~noj (β_x) i gasnoj(β_y) fazi

Ravnote`a u sistemu defini{e se tabelarno:

$x, \frac{\text{kmolA}}{\text{kmol}(A+B)}$	0	0.005	0.01	0.015	0.02
$y, \frac{\text{kmolA}}{\text{kmol}(A+C)}$	0	0.009	0.015	0.021	0.026

a,b)

dno kolone (presek I):

$$y_i=0 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmol}(A+C)} \Rightarrow x_i = \frac{0.02 - y}{1.33} = 0.015 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmol}(A+B)}$$

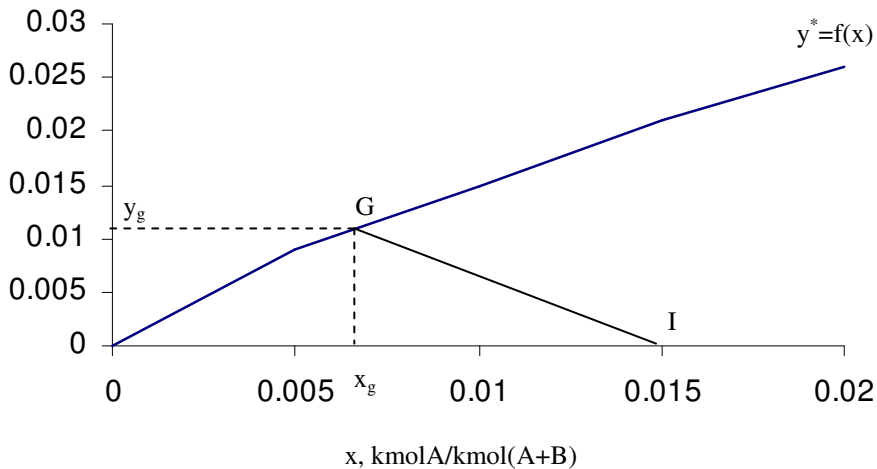
procedura:

- na osnovu navedenih tabelarnih vrednosti konstruiše se ravnotežni dijagram $y^* = f(x)$
- zatim se konstruiše radna prava sa koeficijentom pravca $\text{tg}\alpha = -1.33$ kroz tačku sa koordinatama $(x_i = 0.015, y_i = 0)$
- presek radne prave sa ravnotežnom linijom definiše sastav na granici faza

$$x_g = 0.007 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmol(A+B)}}, y_g = 0.012 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmol(A+C)}}$$

- $x^* = 0 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmol(A+B)}}$ (sastav tečne faze koji je u ravnoteži sa $y_i = 0$)

$y, \text{ kmolA/kmol(A+C)}$



$$n_A = K_x \cdot (x_i - x^*) = 2.94 \cdot 10^{-3} \cdot (0.015 - 0) = 4.41 \cdot 10^{-5} \frac{\text{kmolA}}{\text{m}^2\text{s}}$$

c)

$$\beta_x = \frac{n_A}{x_i - x_g} = \frac{4.41 \cdot 10^{-5}}{0.015 - 0.008} = 6.3 \cdot 10^{-3} \frac{\text{kmolA}}{\text{m}^2\text{s}(\Delta x)}$$

$$\beta_y = \frac{n_A}{y_g - y_i} = \frac{4.41 \cdot 10^{-5}}{0.012 - 0} = 3.675 \cdot 10^{-3} \frac{\text{kmolA}}{\text{m}^2\text{s}(\Delta y)}$$

2.7. Pri apsorpciji amonijaka (A) iz vazduha (B) pomoću vodenog rastvora sumporne kiseline (C) tečnost se u obliku filma sliva niz unutrašnje zidove cevi unutrašnjeg prečnika $d=14.6$ mm pri sledećim radnim uslovima:

- maseni protok vazduha $\dot{m}=41.4$ g/min
- pritisak amonijaka u vazduhu u posmatranom preseku cevi $p_i=4119$ Pa
- apsolutni pritisak u sistemu $p=101.3$ kPa
- srednja temperatura tečnosti i gasa $T=25^\circ\text{C}$
- koeficijent difuzije amonijaka kroz vazduh $D=2.42 \cdot 10^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$
- zanemariti pritisak amonijaka u gasnoj fazi na graničnoj površini
- zanemariti otpor prelazu materije u tečnoj fazi

Određiti:

- a) koeficijent prelaza materije kroz gasnu fazu, $\beta_p \left[\frac{\text{kmolA}}{\text{m}^2\text{s}(\Delta p)} \right]$
- b) maseni fluks amonijaka iz gasovite faze u tečnu fazu

a)

1 korak

Obzirom da je sadržaj amonijaka u vazduhu mali termofizička svojstva gasne mešavine se usvajaju kao za čist vazduh na $p=101.3$ kPa i $t=25^\circ\text{C}$:

$$\rho_f = \frac{p}{R_g \cdot T} = \frac{101300}{287 \cdot 298} = 1.135 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}, \quad v_f = 16.89 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}, \quad D = 2.42 \cdot 10^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

2. korak

$$l_{ek} = d = 14.6 \text{ mm}$$

3. korak

$$w = \frac{\dot{m}}{\rho_f \cdot d^2 \cdot \pi} = \frac{4 \cdot \frac{41.4 \cdot 10^{-3}}{60}}{1.135 \cdot (14.16 \cdot 10^{-3})^2 \cdot \pi} = 3.62 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\text{Re} = \frac{w \cdot l_{ek}}{v_f} = \frac{3.62 \cdot 14.6 \cdot 10^{-3}}{16.89 \cdot 10^{-6}} = 3129 \quad \text{Sc} = \frac{v_f}{D} = \frac{16.89 \cdot 10^{-6}}{2.42 \cdot 10^{-5}} = 0.698$$

4. korak

$$\text{I na~in:} \quad \text{Sh}_f = 0.023 \cdot \text{Re}_f^{0.83} \cdot \text{Sc}_f^{0.33} = 0.023 \cdot 3129^{0.83} \cdot 0.698^{0.33} = 16.3$$

$$\text{II na~in:} \quad j_D = 0.023 \cdot \text{Re}_f^{-0.17} = 0.023 \cdot 3129^{-0.17} = 5.8 \cdot 10^{-3}$$

5. korak

$$\text{I. na-in: } \beta'_C = \text{Sh}_f \cdot \frac{D}{l_{ek}} = 16.3 \cdot \frac{2.42 \cdot 10^{-5}}{14.6 \cdot 10^{-3}} = 2.7 \cdot 10^{-2} \frac{\text{kmolA}}{\text{m}^2\text{s}(\Delta C)}$$

$$\text{II. na-in: } \beta'_C = j_D \cdot \text{Re}_f \cdot \text{Sc}_f^{0.33} \cdot \frac{D}{l_{ek}}$$

$$\beta'_C = 5.8 \cdot 10^{-3} \cdot 3129 \cdot 0.698^{0.33} \cdot \frac{2.42 \cdot 10^{-5}}{14.6 \cdot 10^{-3}} = 2.7 \cdot 10^{-2} \frac{\text{kmolA}}{\text{m}^2\text{s}(\Delta C)}$$

$$\beta'_p = \frac{\beta'_C}{R_u \cdot T} = \frac{2.7 \cdot 10^{-2}}{8315 \cdot 298} = 1.09 \cdot 10^{-8} \frac{\text{kmolA}}{\text{m}^2\text{s}(\Delta p)}$$

$$\beta_p = \beta'_p \cdot \frac{p}{p_{Bln}} = \dots = 1.09 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{101300}{99226} = 1.11 \cdot 10^{-8} \frac{\text{kmolA}}{\text{m}^2\text{s}(\Delta p)}$$

$$p_{Bi} = p - p_i = 101300 - 4119 = 97181 \text{ Pa}$$

$$p_{Bg} = p - p_g = 101300 - 0 = 101300 \text{ Pa}$$

$$p_{Bln} = \frac{p_{Bi} - p_{Bg}}{\ln \frac{p_{Bi}}{p_{Bg}}} = \frac{97181 - 101300}{\ln \frac{97181}{101300}} = 99226 \text{ Pa}$$

p_{Bln} – srednji pritisak komponente B du`puta razmene materije (grani~ni sloj)

b)

$$n_A = \beta_p \cdot (p_i - p_g) = 1.11 \cdot 10^{-8} \cdot (4119 - 0) = 4.58 \cdot 10^{-5} \frac{\text{kmolA}}{\text{m}^2\text{s}}$$

$$\bar{n}_A = n_A \cdot M_A = 4.58 \cdot 10^{-5} \cdot 17 = 7.79 \cdot 10^{-4} \frac{\text{kgA}}{\text{m}^2\text{s}}$$

2.8. Kolona sa vla`nim zidovima unutra{njeg pre~nika $d=5$ cm upotrebljava se za desorpciju CO_2 iz vodenog rastvora, strujom vazduha brzine $w=1$ m/s. U nekom preseku kolone koncentracija CO_2 u struji vazduha iznosi 1 mol%. U istom preseku kolone koncentracija CO_2 u vodi je 0.5 mol%. Radni uslovi u koloni su ($p=10$ bar $t=25^\circ\text{C}$). Koeficijent difuzije CO_2 kroz vazduh pri $p=1$ bar i $t=25^\circ\text{C}$ iznosi $D=1.53 \cdot 10^{-5}$ m²/s. Zanimariti otpor prelazu materije u te~noj fazi. Ravnote`a u sistemu defini{e se Henrijevim zakonom: $p_A=H \cdot x_A$, gde su:

p_A -- parcijalni pritisak CO_2 u gasnoj fazi

x_A - molski udeo CO_2 u te~noj fazi

H -- Henrijeva konstanta, $H=1.66 \cdot 10^3$ bar

Pri izra~unavanju bezdimenzionih kriterijuma sli~nosti (Re_f , Sc_f) koristiti fizi~ke parametre ~istog vazduha. Odrediti:

a) koeficijent prelaza mase u gasovitoj fazi (β_y)

b) maseni fluks CO_2 u toj ta~ki kolone

a)

1. korak

$$v_f = 16 \cdot 10^{-7} \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \quad (\text{vazduh } p=10 \text{ bar i } t=25^\circ\text{C})$$

$$D = 1.53 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{1}{10} \cdot \left(\frac{298}{298}\right)^{1.75} = 1.53 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

2 korak

$$l_{ek} = d = 5 \text{ cm}$$

3. korak

$$Re_f = \frac{w \cdot l_{ek}}{v_f} = \frac{1 \cdot 5 \cdot 10^{-2}}{16 \cdot 10^{-7}} = 31250 \qquad Sc_f = \frac{v_f}{D} = \frac{16 \cdot 10^{-7}}{1.53 \cdot 10^{-6}} = 1.05$$

4. korak

$$\text{I na~in:} \quad Sh_f = 0.023 \cdot Re_f^{0.83} \cdot Sc_f^{0.33} = 0.023 \cdot 31250^{0.83} \cdot 1.05^{0.33} = 125.7$$

$$\text{II na~in: } j_D = 0.023 \cdot Re_f^{-0.17} = 0.023 \cdot 31250^{-0.17} = 3.96 \cdot 10^{-3}$$

5. korak

$$\text{I na~in: } \beta'_C = Sh_f \cdot \frac{D}{l_{ek}} = 125.7 \cdot \frac{1.53 \cdot 10^{-6}}{5 \cdot 10^{-2}} = 3.85 \cdot 10^{-3} \frac{\text{kmolA}}{\text{m}^2\text{s}(\Delta C)}$$

$$\text{II na~in: } \beta'_C = j_D \cdot Re_f \cdot Sc_f^{0.33} \cdot \frac{D}{l_{ek}}$$

$$\beta'_C = 3.96 \cdot 10^{-3} \cdot 31250 \cdot 1.05^{0.33} \cdot \frac{1.53 \cdot 10^{-6}}{5 \cdot 10^{-2}} = 3.85 \cdot 10^{-3} \frac{\text{kmolA}}{\text{m}^2\text{s}(\Delta C)}$$

$$\beta_p' = \frac{\beta_C'}{R_u \cdot T} = \frac{3.85 \cdot 10^{-3}}{8315 \cdot 298} = 1.55 \cdot 10^{-9} \frac{\text{kmolA}}{\text{m}^2 \text{s}(\Delta p)}$$

$$\beta_p = \beta_p' \cdot \frac{p}{p_{B\ln}} = \dots = 1.55 \cdot 10^{-9} \cdot \frac{10}{4.65} = 3.33 \cdot 10^{-9} \frac{\text{kmolA}}{\text{m}^2 \text{s}(\Delta p)}$$

$$p_i = y_i \cdot p = 0.01 \cdot 10 = 0.1 \text{ bar}$$

$$p_g = H \cdot x_g = 1.66 \cdot 10^3 \cdot 0.005 = 8.3 \text{ bar}$$

napomena:

Uo~iti da je $x_g = x_i$ i $p_g = p^*$, {to je posledica zanemarivanja otpora prelazu materije kroz te~nu fazu.

$$p_{Bi} = p - p_i = 10 - 0.1 = 9.9 \text{ bar}$$

$$p_{Bg} = p - p_g = 10 - 8.3 = 1.7 \text{ bar}$$

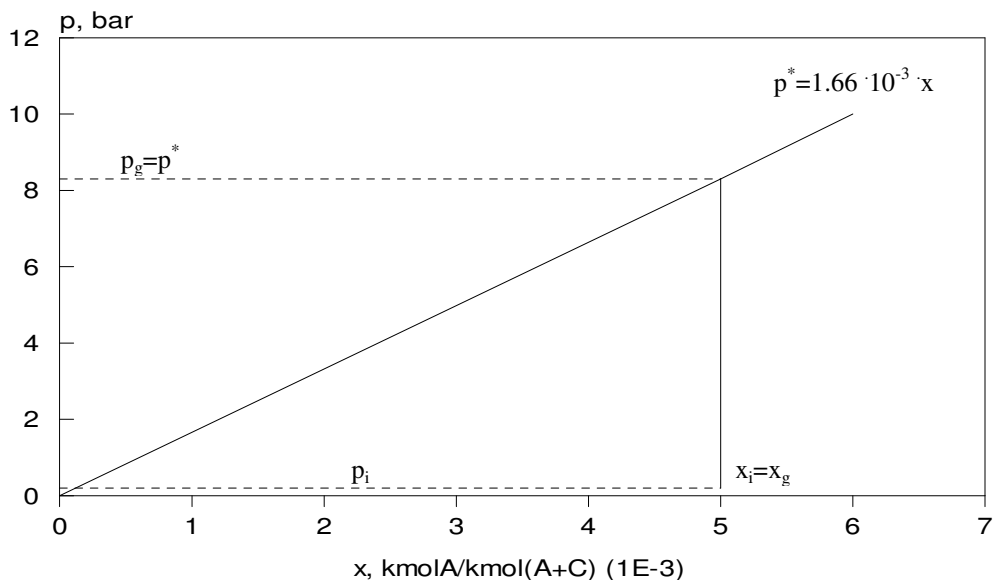
$$p_{B\ln} = \frac{p_{Bi} - p_{Bg}}{\ln \frac{p_{Bi}}{p_{Bg}}} = \frac{9.9 - 1.7}{\ln \frac{9.9}{1.7}} = 4.65 \text{ bar}$$

b)

$$n_A = \beta_p \cdot (p_g - p_i) = 3.33 \cdot 10^{-9} \cdot (8.3 - 0.1) \cdot 10^5 = 2.73 \cdot 10^{-3} \frac{\text{kmolA}}{\text{m}^2 \text{s}}$$

$$\bar{n}_A = n_A \cdot M_A = 2.73 \cdot 10^{-3} \cdot 44 = 1.2 \cdot 10^{-1} \frac{\text{kgA}}{\text{m}^2 \text{s}}$$

geometrijska interpretacija re{enja:



2.9. Niz {ipku du~ine $L=1$ m, pre~nika $d=2.5$ cm sliva se voda temperature $t=30^\circ\text{C}$. Normalno na cev turbulentno struji suv vazduh brzinom $w=4$ m/s, temperature $t=30^\circ\text{C}$ pritiska $p=1$ bar. Koeficijent difuzije vodene pare pri $p=1$ bar i $t=25^\circ\text{C}$ iznosi $D=2.56 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$. Odrediti:

- a) koeficijent konvektivnog prelaza mase (β_p)
- b) molski protok vode koja isparava

a)

1. korak

$$v_f = 16 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \quad D = 2.56 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{1}{1} \cdot \left(\frac{303}{298} \right)^{1.75} = 2.64 \cdot 10^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

2 korak

$$l_{ek} = d = 2.5 \text{ cm}$$

3. korak

$$\text{Re}_f = \frac{w \cdot l_{ek}}{v_f} = \frac{4 \cdot 2.5 \cdot 10^{-2}}{16 \cdot 10^{-6}} = 6250 \qquad \text{Sc}_f = \frac{v_f}{D} = \frac{16 \cdot 10^{-6}}{2.64 \cdot 10^{-5}} = 0.61$$

4. korak

$$\text{I na-in:} \quad \text{Sh}_f = 0.193 \cdot \text{Re}_f^{0.62} \cdot \text{Sc}_f^{0.33} = 0.193 \cdot 6250^{0.62} \cdot 0.61^{0.33} = 37$$

$$\text{II na-in:} \quad j_D = 0.193 \cdot \text{Re}_f^{-0.38} = 0.193 \cdot 6250^{-0.38} = 6.97 \cdot 10^{-3}$$

5. korak

$$\text{I. na-in:} \quad \beta'_C = \text{Sh}_f \cdot \frac{D}{l_{ek}} = 37 \cdot \frac{2.64 \cdot 10^{-5}}{2.5 \cdot 10^{-2}} = 3.91 \cdot 10^{-2} \frac{\text{kmolA}}{\text{m}^2\text{s}(\Delta C)}$$

$$\text{II. na-in:} \quad \beta'_C = j_D \cdot \text{Re}_f \cdot \text{Sc}_f^{0.33} \cdot \frac{D}{l_{ek}}$$

$$\beta'_C = 6.97 \cdot 10^{-3} \cdot 6250 \cdot 0.61^{0.33} \cdot \frac{2.64 \cdot 10^{-5}}{2.5 \cdot 10^{-2}} = 3.91 \cdot 10^{-2} \frac{\text{kmolA}}{\text{m}^2\text{s}(\Delta C)}$$

$$\beta'_p = \frac{\beta'_C}{R_u \cdot T} = \frac{3.91 \cdot 10^{-2}}{8315 \cdot 303} = 1.55 \cdot 10^{-8} \frac{\text{kmolA}}{\text{m}^2\text{s}(\Delta p)}$$

$$\beta_p = \beta'_p \cdot \frac{p}{p_{Bin}} = \dots = 1.55 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{1}{0.9786} = 1.58 \cdot 10^{-8} \frac{\text{kmolA}}{\text{m}^2\text{s}(\Delta p)}$$

$$p_i = p^\theta = 42.41 \cdot 10^{-3} \text{ bar} \quad (\text{napon pare iste vode na } t=30^\circ\text{C})$$

$$p_g = p_{\text{H}_2\text{O}} = 0 \text{ bar} \quad (\text{parcijalni pritisak pare u okolnom vazduhu})$$

$$p_{Bi} = p - p_i = 1 - 42.41 \cdot 10^{-3} = 0.9576 \text{ bar}$$

$$p_{Bg} = p - p_g = 1 - 0 = 1 \text{ bar}$$

$$p_{Bln} = \frac{p_{Bi} - p_{Bg}}{\ln \frac{p_{Bi}}{p_{Bg}}} = \frac{0.9576 - 1}{\ln \frac{0.9576}{1}} = 0.9786 \text{ bar}$$

$$n_A = \frac{p^\theta - p_{\text{H}_2\text{O}}}{\beta_p} = \frac{42.41 \cdot 10^{-3} - 0}{1.58 \cdot 10^{-8}} = 6.7 \cdot 10^{-10} \frac{\text{kmolA}}{\text{m}^2\text{s}}$$

$$\dot{n}_A = n_A \cdot d\pi \cdot L = 6.7 \cdot 10^{-10} \cdot 2.5 \cdot 10^{-2} \pi \cdot 1 = 5.26 \cdot 10^{-11} \frac{\text{kmolA}}{\text{s}}$$

2.10. Voda (A) temperature 28°C sliva u obliku filma niz unutrašnje zidove cevi unutrašnjeg prečnika $d_u=25 \text{ mm}$ i dužine $L=1 \text{ m}$. Kroz cev struji vazduh (B), iste temperature, brzinom $w=6 \text{ m/s}$. Srednja vrednost parcijalnog pritiska vodene pare u vazduhu iznosi $p_{\text{H}_2\text{O}}=825 \text{ Pa}$. Apsolutni pritisak u sistemu iznosi $p=1 \text{ bar}$. Koeficijent difuzije vodene pare kroz vazduh pri radnim uslovima iznosi $D=2.63 \cdot 10^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$. Odrediti:

- a) koeficijent prelaza vodene pare u vazduh, $\beta_p \left[\frac{\text{kmolA}}{\text{m}^2\text{s}(\Delta p)} \right]$
- b) maseni protok vode koja isparava $\left[\frac{\text{kgA}}{\text{s}} \right]$

a)

1. korak

$$\rho_f = \frac{p}{R_g \cdot T} = \frac{1 \cdot 10^5}{287 \cdot 301} = 1.16 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}, \quad v_f = 15.81 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}, \quad D = 2.63 \cdot 10^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

2 korak

$$l_{ek} = d_u = 25 \text{ mm}$$

3. korak

$$Re_f = \frac{w \cdot l_{ek}}{v_f} = \frac{6 \cdot 25 \cdot 10^{-3}}{15.81 \cdot 10^{-6}} = 9488 \quad Sc_f = \frac{v_f}{D} = \frac{15.81 \cdot 10^{-6}}{2.63 \cdot 10^{-5}} = 0.6$$

4. korak

$$\text{I na~in: } Sh_f = 0.023 \cdot Re_f^{0.83} \cdot Sc_f^{0.33} = 0.023 \cdot 9488^{0.83} \cdot 0.6^{0.33} = 36.9$$

$$\text{II na~in: } j_D = 0.023 \cdot Re_f^{-0.17} = 0.023 \cdot 9488^{-0.17} = 4.85 \cdot 10^{-3}$$

5. korak

$$\text{I. na~in: } \beta'_C = Sh_f \cdot \frac{D}{l_{ek}} = 36.9 \cdot \frac{2.63 \cdot 10^{-5}}{25 \cdot 10^{-3}} = 4.09 \cdot 10^{-2} \frac{\text{kmolA}}{\text{m}^2\text{s}(\Delta C)}$$

$$\text{II. na~in: } \beta'_C = j_D \cdot Re_f \cdot Sc_f^{0.33} \cdot \frac{D}{l_{ek}}$$

$$\beta'_C = 4.85 \cdot 10^{-3} \cdot 9488 \cdot 0.6^{0.33} \cdot \frac{2.63 \cdot 10^{-5}}{25 \cdot 10^{-3}} = 4.09 \cdot 10^{-2} \frac{\text{kmolA}}{\text{m}^2\text{s}(\Delta C)}$$

$$\beta'_p = \frac{\beta'_C}{R_u \cdot T} = \frac{4.09 \cdot 10^{-2}}{8315 \cdot 301} = 1.63 \cdot 10^{-8} \frac{\text{kmolA}}{\text{m}^2\text{s}(\Delta p)}$$

$$\beta_p = \beta'_p \cdot \frac{p}{p_{Bln}} = \dots = 1.63 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{1}{0.9769} = 1.67 \cdot 10^{-8} \frac{\text{kmolA}}{\text{m}^2\text{s}(\Delta p)}$$

$$p_i = p^\theta = 37.79 \cdot 10^{-3} \text{ bar} \quad (\text{napon pare ~iste vode na } t=28^\circ\text{C})$$

$$p_g = p_{\text{H}_2\text{O}} = 8.25 \cdot 10^{-3} \text{ bar} \quad (\text{parcijalni pritisak pare u okolnom vazduhu})$$

$$p_{Bi} = p - p_i = 1 - 37.79 \cdot 10^{-3} = 0.96221 \text{ bar}$$

$$p_{Bg} = p - p_g = 1 - 8.25 \cdot 10^{-3} = 0.99175 \text{ bar}$$

$$p_{Bln} = \frac{p_{Bi} - p_{Bg}}{\ln \frac{p_{Bi}}{p_{Bg}}} = \frac{0.96221 - 0.99175}{\ln \frac{0.96221}{0.99175}} = 0.9769 \text{ bar}$$

$$n_A = \frac{p^\theta - p_{\text{H}_2\text{O}}}{\beta_p} = \frac{(37.79 \cdot 10^{-3} - 8.25 \cdot 10^{-3}) \cdot 10^5}{1.67 \cdot 10^{-8}} = 4.93 \cdot 10^{-5} \frac{\text{kmolA}}{\text{m}^2\text{s}}$$

$$\dot{n}_A = n_A \cdot d\pi \cdot L = 4.93 \cdot 10^{-5} \cdot 25 \cdot 10^{-3} \pi \cdot 1 = 3.87 \cdot 10^{-6} \frac{\text{kmolA}}{\text{s}}$$

$$\dot{m}_A = \dot{n}_A \cdot M_A = 3.87 \cdot 10^{-6} \cdot 18 = 6.97 \cdot 10^{-5} \frac{\text{kgA}}{\text{s}}$$

2.11. Za vreme letnje nepogode sferna ~estica grada ($t=0^{\circ}\text{C}$), pre~nika $d=5$ mm, pada kroz vazduh temperature 10°C i relativne vla`nosti $\varphi=0.2$. Koeficijent difuzije vodene pare kroz vazduh pri radnim uslovima iznosi $D=2.4 \cdot 10^{-5}$ m²/s, a atmosferski pritisak iznosi $p=1$ bar. Odrediti gubitak mase ~estice pri navedenim uslovima (kg/s).

Zanemariti uticaj vetra, toplotni grani~ni sloj i pri izra~unavanju bezdimenzionih kriterijuma sli~nosti koristiti fizi~ke parametre suvog vazduha.

$$\dot{n}_A = \dot{n}_A \cdot M_A = \dots = 1.91 \cdot 10^{-9} \cdot 18 = 3.44 \cdot 10^{-8} \frac{\text{kgA}}{\text{s}}$$

$$\dot{n}_A = n_A \cdot d^2 \pi = \dots = 2.43 \cdot 10^{-5} \cdot (5 \cdot 10^{-3})^2 \pi = 1.91 \cdot 10^{-9} \frac{\text{kmolA}}{\text{s}}$$

$$n_A = \frac{p^{\theta} - p_{\text{H}_2\text{O}}}{\beta_p} = \dots = \frac{(6.108 \cdot 10^{-3} - 2.455 \cdot 10^{-3}) \cdot 10^5}{6.66 \cdot 10^{-8}} = 2.43 \cdot 10^{-5} \frac{\text{kmolA}}{\text{m}^2\text{s}}$$

$$p^{\theta} = 6.108 \cdot 10^{-3} \text{ bar} \quad (\text{napon pare ~iste vode na } t=0^{\circ}\text{C})$$

$$p_{\text{H}_2\text{O}} = \varphi \cdot [p^{\theta}]_{t=10^{\circ}\text{C}} = 0.2 \cdot 12.27 \cdot 10^{-3} = 2.455 \cdot 10^{-3} \text{ bar}$$

napomena: $[p^{\theta}]_{t=10^{\circ}\text{C}}$, napon pare ~iste vode na $t=10^{\circ}\text{C}$

1. korak

$$\rho_f = 1.247 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}, \quad \mu_f = 17.6 \cdot 10^{-6} \text{ Pa}\cdot\text{s}, \quad D = 2.4 \cdot 10^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

2 korak

$$l_{\text{ek}} = d = 5 \text{ mm}$$

3. korak

odreli vanje re`ima talo`enja ~estice grada:

$$Ar_w = \frac{2}{3} \cdot \frac{d_{\sim}^3 \cdot g \cdot (\rho_{\sim} - \rho)}{\mu^2} = \frac{2}{3} \cdot \frac{(5 \cdot 10^{-3})^3 \cdot 9.81 \cdot (900 - 1.247)}{(17.6 \cdot 10^{-6})^2} = 2.37 \cdot 10^6$$

Pri ovoj vrednosti Ar_w koeficijent trenja usled oblika ima vrednost $C_d=0.44$,

$$\text{pa je } w_{\text{tal}} = \sqrt{\frac{4 \cdot g \cdot (\rho_{\sim} - \rho) \cdot d_{\sim}}{3 \cdot 0.44 \cdot \rho}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 9.81 \cdot (900 - 1.247) \cdot 5 \cdot 10^{-3}}{3 \cdot 0.44 \cdot 1.247}} = 10.35 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

napomena: $\rho_{\sim}=900 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$, gustina leda

$$Re_f = \frac{w_{\text{tal}} \cdot d_{\sim}}{\nu_f} = \frac{\rho_f \cdot w_{\text{tal}} \cdot d_{\sim}}{\mu_f} = \frac{1.247 \cdot 10.35 \cdot 5 \cdot 10^{-3}}{17.6 \cdot 10^{-6}} = 3667$$

$$Sc_f = \frac{v_f}{D} = \frac{\mu_f}{\rho_f \cdot D} = \frac{17.6 \cdot 10^{-6}}{1.247 \cdot 2.4 \cdot 10^{-5}} = 0.59$$

4. korak

$$\text{I na-in: } Sh_f = 2 + 0.6 \cdot Re_f^{0.5} \cdot Sc_f^{0.33} = 2 + 0.6 \cdot 3667^{0.5} \cdot 0.59^{0.33} = 32.5$$

$$\text{II na-in: } j_D = 0.6 \cdot Re_f^{-0.5} = 0.01$$

5. korak

$$\text{I. na-in: } \beta'_C = Sh_f \cdot \frac{D}{l_{ek}} = 32.5 \cdot \frac{2.4 \cdot 10^{-5}}{5 \cdot 10^{-3}} = 1.56 \cdot 10^{-1} \frac{\text{kmolA}}{\text{m}^2\text{s}(\Delta C)}$$

$$\text{II. na-in: } \beta'_C = (j_D \cdot Re_f \cdot Sc_f^{0.33} + 2) \cdot \frac{D}{l_{ek}}$$

$$\beta'_C = (0.01 \cdot 3667 \cdot 0.59^{0.33} + 2) \cdot \frac{2.4 \cdot 10^{-5}}{5 \cdot 10^{-3}} = 1.56 \cdot 10^{-1} \frac{\text{kmolA}}{\text{m}^2\text{s}(\Delta C)}$$

$$\beta'_p = \frac{\beta'_C}{R_u \cdot T} = \frac{1.56 \cdot 10^{-1}}{8315 \cdot 283} = 6.63 \cdot 10^{-8} \frac{\text{kmolA}}{\text{m}^2\text{s}(\Delta p)}$$

$$\beta_p = \beta'_p \cdot \frac{p}{p_{Bln}} = \dots = 6.63 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{1}{0.9957} = 6.66 \cdot 10^{-8} \frac{\text{kmolA}}{\text{m}^2\text{s}(\Delta p)}$$

$$p_i = p^\theta = 6.108 \cdot 10^{-3} \text{ bar} \quad (\text{napon pare iste vode na } t=0^\circ\text{C})$$

$$p_g = p_{\text{H}_2\text{O}} = 2.455 \cdot 10^{-3} \text{ bar} \quad (\text{parcijalni pritisak v. pare u okolnom vazduhu})$$

$$p_{Bi} = p - p_i = 1 - 37.79 \cdot 10^{-3} = 0.9939 \text{ bar}$$

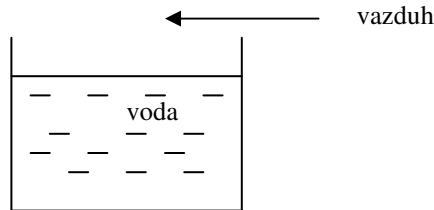
$$p_{Bg} = p - p_g = 1 - 8.25 \cdot 10^{-3} = 0.9975 \text{ bar}$$

$$p_{Bln} = \frac{p_{Bi} - p_{Bg}}{\ln \frac{p_{Bi}}{p_{Bg}}} = \frac{0.9939 - 0.9975}{\ln \frac{0.9939}{0.9975}} = 0.9957 \text{ bar}$$

2.12. Rezervoar kvadratnog poprečnog preseka stranice $a=0.3$ m, napunjen je vodom temperature 32°C . Paralelno sa površinom vode struji nezasićen vlažan vazduh temperature 60°C , brzinom $w=6$ m/s. Parcijalni pritisak vodene pare u vlažnom vazduhu iznosi 0.0375 bar. Koeficijent difuzije vodene pare kroz vazduh pri radnim uslovima:

$D=3 \cdot 10^{-5}$ m²/s. Atmosferski pritisak iznosi $p=1$ bar. Zanimariti toplotni granični sloj i pri određivanju bezdimenzionih kriterijuma sličnosti koristiti fizičke parametre suvog vazduha. Odrediti maseni fluks

vode koja isparava $\left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^2\text{s}}\right)$.



$$\bar{n}_A = n_A \cdot M_A = \dots = 1.06 \cdot 10^{-5} \cdot 18 = 1.9 \cdot 10^{-4} \frac{\text{kgA}}{\text{m}^2\text{s}}$$

$$n_A = \frac{p^\theta - p_{\text{H}_2\text{O}}}{\frac{1}{\beta_p}} = \dots = \frac{(47.53 \cdot 10^{-3} - 31.5 \cdot 10^{-3}) \cdot 10^5}{\frac{1}{6.63 \cdot 10^{-9}}} = 1.06 \cdot 10^{-5} \frac{\text{kmolA}}{\text{m}^2\text{s}}$$

$$p^\theta = 47.53 \cdot 10^{-3} \text{ bar} \quad (\text{napon pare iste vode na } t=32^\circ\text{C})$$

$$p_{\text{H}_2\text{O}} = 31.5 \cdot 10^{-3} \text{ bar} \quad (\text{parcijalni pritisak vodene pare u vazduhu})$$

1. korak fizički parametri suvog vazduha na $t=60^\circ\text{C}$:

$$\rho_f = 1.06 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}, \quad \mu_f = 20.1 \cdot 10^{-6} \text{ Pa}\cdot\text{s}, \quad D = 3 \cdot 10^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

2. korak

$$l_{\text{ek}} = a = 0.3 \text{ m}$$

3. korak

$$\text{Re}_f = \frac{\rho_f \cdot w \cdot l_{\text{ek}}}{\mu_f} = \frac{1.06 \cdot 6 \cdot 0.3}{20.1 \cdot 10^{-6}} = 9.5 \cdot 10^4 \quad \text{Sc} = \frac{\mu_f}{\rho_f \cdot D} = \frac{20.1 \cdot 10^{-6}}{1.06 \cdot 3 \cdot 10^{-5}} = 0.63$$

4. korak

$$\text{I na-in: } Sh_f = 0.664 \cdot Re_f^{0.5} \cdot Sc_f^{0.33} = 0.664 \cdot (9.5 \cdot 10^4)^{0.5} \cdot 0.63^{0.33} = 175.7$$

$$\text{II na-in: } j_D = 0.664 \cdot Re_f^{-0.5} = 0.664 \cdot (9.5 \cdot 10^4)^{-0.5} = 2.15 \cdot 10^{-3}$$

5. korak

$$\text{I. na-in: } \beta'_C = Sh_f \cdot \frac{D}{l_{ek}} = 175.7 \cdot \frac{3 \cdot 10^{-5}}{0.3} = 1.76 \cdot 10^{-2} \frac{\text{kmolA}}{\text{m}^2\text{s}(\Delta C)}$$

$$\text{II. na-in: } \beta'_C = j_D \cdot Re_f \cdot Sc_f^{0.33} \cdot \frac{D}{l_{ek}}$$

$$\beta'_C = 2.15 \cdot 10^{-3} \cdot 9.5 \cdot 10^4 \cdot 0.63^{0.33} \cdot \frac{3 \cdot 10^{-5}}{0.3} = 1.76 \cdot 10^{-2} \frac{\text{kmolA}}{\text{m}^2\text{s}(\Delta C)}$$

$$\beta'_p = \frac{\beta'_C}{R_u \cdot T} = \frac{1.76 \cdot 10^{-2}}{8315 \cdot 333} = 6.36 \cdot 10^{-9} \frac{\text{kmolA}}{\text{m}^2\text{s}(\Delta p)}$$

$$\beta_p = \beta'_p \cdot \frac{p}{p_{Bln}} = \dots = 6.36 \cdot 10^{-9} \cdot \frac{1}{0.96} = 6.63 \cdot 10^{-9} \frac{\text{kmolA}}{\text{m}^2\text{s}(\Delta p)}$$

$$p_i = p^\theta = 47.53 \cdot 10^{-3} \text{ bar} \quad (\text{napon pare iste vode na } t=32^\circ\text{C})$$

$$p_g = p_{\text{H}_2\text{O}} = 31.5 \cdot 10^{-3} \text{ bar} \quad (\text{parcijalni pritisak v. pare u okolnom vazduhu})$$

$$p_{Bi} = p - p_i = 1 - 47.53 \cdot 10^{-3} = 0.95247 \text{ bar}$$

$$p_{Bg} = p - p_g = 1 - 31.5 \cdot 10^{-3} = 0.9685 \text{ bar}$$

$$p_{Bln} = \frac{p_{Bi} - p_{Bg}}{\ln \frac{p_{Bi}}{p_{Bg}}} = \frac{0.95247 - 0.9685}{\ln \frac{0.95247}{0.9685}} = 0.96 \text{ bar}$$

zadaci za vežbanje: (2.13. – 2.14.)

2.13. Mešavina amonijaka (A) i vazduha (B) protiče kroz vertikalnu metalnu cev unutrašnjeg prečnika $d_u=20$ mm, pri čemu se niz zidove cevi u sliva voda (C). Na određenom nivou cevi molnski udeo amonijaka u gasu iznosi $y_i=0.8$ kmolA/kmol(A+B), a molnski udeo amonijaka u tečnosti iznosi $x_i=0.05$ kmolA/kmol(A+C). Sistem se nalazi na temperaturi od $T=300$ K i pritisku $p=101.3$ kPa. Rezultat takvog stanja u sistemu je transport amonijaka iz gasne u tečnu fazu (apsorpcija). Molnski udeo amonijaka na granici faza iznosi $x_g=0.10$ kmolA/kmol(A+C), a lokalni koeficijent odnosa brzina za gas je $Sh_g=31.5$. Koeficijent difuzije amonijaka kroz vazduh iznosi $D=2.3 \cdot 10^{-5}$ m²/s. Ravnotežni podaci za radne uslove zadaju se tabelarno:

x, kmolA/kmol(A+C)	0	0.05	0.10	0.174	0.25	0.30
y, kmolA/kmol(A+B)	0	0.07	0.14	0.362	0.59	0.92

Odrediti:

- koeficijente prelaza mase u gasnoj i tečnoj fazi, β_y i β_x
- molnski fluks amonijaka iz gasne u tečnu fazu, n_A
- brzinu strujanja gasne faze (kinematska viskoznost vazduha pri radnim uslovima iznosi $\nu=16.9 \cdot 10^{-6}$ m²/s)

napomena:

pri izračunavanju bezdimenzionih veličina koristiti fizičke parametre vazduha

rešenje:

$$a) \quad \beta_y = 3.252 \cdot 10^{-3} \frac{\text{kmolA}}{\text{m}^2\text{s}(\Delta y)}, \quad \beta_x = 4.293 \cdot 10^{-2} \frac{\text{kmolA}}{\text{m}^2\text{s}(\Delta x)},$$

$$b) \quad n_A = 2.146 \cdot 10^{-3} \frac{\text{kmolA}}{\text{m}^2\text{s}}$$

$$c) \quad w = 5.74 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

2.14. Kap vode, sfera prečnika $d=1$ mm, počinje slobodno da pada kroz miran suv vazduh ($p=1$ bar, $t=40^\circ\text{C}$). U toku slobodnog pada dolazi do isparavanja. Temperatura kapi za vreme slobodnog pada je konstantna i iznosi 15°C . Odrediti molnski protok vode koji isparava u početnom vremenskom trenutku. Zanemariti toplotni granični sloj.

rešenje:

$$n_A = 1.786 \cdot 10^{-4} \frac{\text{kmolA}}{\text{m}^2\text{s}} \quad \left(w_{\text{tal}} = 4 \frac{\text{m}}{\text{s}}, \beta_p = 1.05 \cdot 10^{-7} \frac{\text{kmolA}}{\text{m}^2\text{s}(\Delta p)} \right)$$

faza L:

$$\begin{aligned}
 x &= \frac{n_A}{n_A + n_C}, & \text{molski udeo} & & \left(\frac{\text{kmolA}}{\text{kmol(A+C)}} \right) \\
 X &= \frac{n_A}{n_C}, & \text{molski odnos} & & \left(\frac{\text{kmolA}}{\text{kmolC}} \right) \\
 C_x &= \frac{n_A}{V}, & \text{molska koncentracija} & & \left(\frac{\text{kmolA}}{\text{m}^3(\text{A+C})} \right) \\
 \bar{x} &= \frac{m_A}{m_A + m_C}, & \text{maseni udeo} & & \left(\frac{\text{kgA}}{\text{kg(A+C)}} \right) \\
 \bar{X} &= \frac{m_A}{m_C}, & \text{maseni odnos} & & \left(\frac{\text{kgA}}{\text{kgC}} \right) \\
 \bar{C}_x &= \frac{m_A}{V}, & \text{masena koncentracija} & & \left(\frac{\text{kgA}}{\text{m}^3(\text{A+C})} \right)
 \end{aligned}$$

3.3. formule transformacija iz jednog sastava u drugi (udeli i odnosi)

	$f(y)$	$f(Y)$	$f(\bar{y})$	$f(\bar{Y})$
$y =$		$\frac{Y}{1+Y}$	$\frac{\bar{y}}{M_A}$ $\frac{\bar{y}}{M_A} + \frac{1-\bar{y}}{M_B}$	$\frac{\bar{Y}}{M_A}$ $\frac{\bar{Y}}{M_A} + \frac{1}{M_B}$
$Y =$	$\frac{y}{1-y}$		$\frac{\bar{y}}{M_A}$ $\frac{1-\bar{y}}{M_B}$	$\frac{\bar{Y}}{M_A}$ $\frac{1}{M_B}$
$\bar{y} =$	$\frac{y \cdot M_A}{y \cdot M_A + (1-y) \cdot M_B}$	$\frac{Y \cdot M_A}{Y \cdot M_A + M_B}$		$\frac{\bar{Y}}{1+\bar{Y}}$
$\bar{Y} =$	$\frac{y \cdot M_A}{(1-y) \cdot M_B}$	$\frac{Y \cdot M_A}{M_B}$	$\frac{\bar{y}}{1-\bar{y}}$	

$$C_y = y \cdot \frac{p_A}{R_u T}, \quad \bar{C}_y = \bar{y} \cdot \frac{p_A}{R_u T} \cdot M_A$$

 M_A – molska masa komponente A p_A – pritisak komponente A

$$C_x = x \cdot \frac{M_L}{\rho_L}, \quad \bar{C}_x = \bar{x} \cdot \rho_L$$

 M_L – molska masa te~ne faze (sastava x) ρ_L – gustina te~ne faze (sastava (x))

3.4. na~ini izra`avanja faza i inertnih komponenata:

$$\begin{array}{ll} G - \text{koli~ina materije (molski protok) faze G} & \text{kmol(A+B), kmol(A+B)/s} \\ \bar{G} - \text{masa (maseni protok) faze G} & \text{kg(A+B), kg(A+B)/s} \end{array}$$

$$\begin{array}{ll} L - \text{koli~ina materije (molski protok) faze L} & \text{kmol(A+C), kmol(A+C)/s} \\ \bar{L} - \text{masa (maseni protok) faze L} & \text{kg(A+C), kg(A+C)/s} \end{array}$$

$$\begin{array}{ll} G_{in} - \text{koli~ina inertne komponente u fazi G} & \text{kmolB, kmolB/s} \\ \bar{G}_{in} - \text{masa (maseni protok) inertne komponente u fazi G} & \text{kgB, kgB/s} \end{array}$$

$$\begin{array}{ll} L_{in} - \text{koli~ina inertne komponente u fazi L} & \text{kmolC, kmolC/s} \\ \bar{L}_{in} - \text{masa (maseni protok) inertne komponente u fazi L} & \text{kgC, kgC/s} \end{array}$$

3.5. formule transformacija koli~ine faze u koli~inu inertne komponente:

$$\begin{array}{ll} G_{in} = \frac{G}{1+Y}, & \bar{G}_{in} = \frac{\bar{G}}{1+\bar{Y}} \\ L_{in} = \frac{L}{1+X}, & \bar{L}_{in} = \frac{\bar{L}}{1+\bar{X}} \end{array}$$

3.6. formule transformacije molskih protoka faza u masene protoke faza

$$\bar{G} = G \cdot M_G, \quad \bar{L} = L \cdot M_L$$

3.7. odrelivanje molskih masa faza

preko molskih udela: $M_G = y \cdot M_A + (1-y) \cdot M_B$

$$M_L = x \cdot M_A + (1-x) \cdot M_C$$

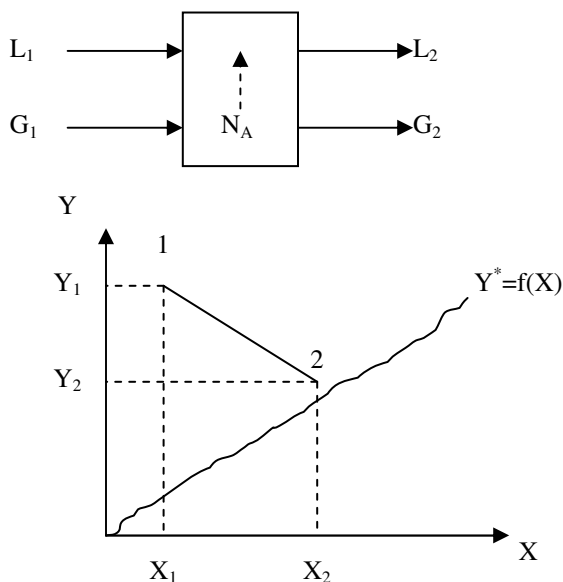
preko masenih udela:

$$M_G = \frac{1}{\frac{y}{M_A} + \frac{1-y}{M_B}}$$

$$M_L = \frac{1}{\frac{x}{M_A} + \frac{1-x}{M_C}}$$

3.8. primeri procesa razmene materije pri kojim faze miruju:

3.8.1. Adsorpcija (prenos mase tj. kretanje mobilne komponente iz gasovite faze u ~vrstu)



materijalni bilans mobilne komponente: $N_A = G_{in} \cdot (Y_1 - Y_2) = L_{in} \cdot (X_1 - X_2)$

jedna~ina radne prave 1-2: $Y - Y_1 = -\frac{L_{in}}{G_{in}} \cdot (X - X_1)$

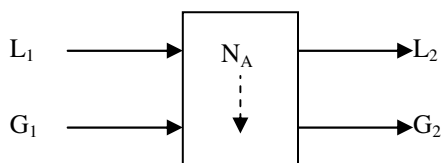
$Y^*=f(X)$, jedna~ina ravnote`ne linije (ravnote`ni uslovi)

N_A – koli~ina mobilne komponente (molski protok) koja se kre}e iz faze G u fazu L

napomene:

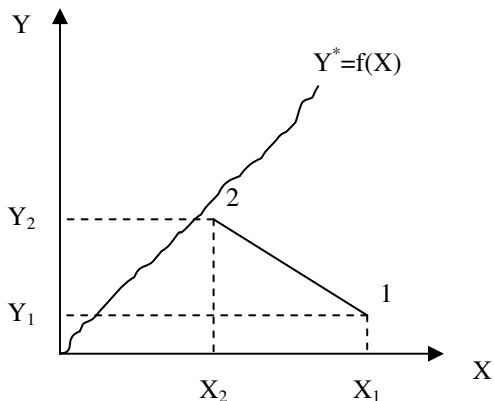
1. sastavi G i L faze se moraju izra`avati u molskim (masenim) odnosima (a ne u udelima)
2. jedna~ina radne prave se uvek nalazi iznad ravnote`ne linije
3. ta~ka 2 se najdalje mo`e na}i na ravnote`noj liniji (ako proces traje do uspostavljanja ravnote`e)
4. jedna~ine i dijagrami koji opisuju razmenu materije pri istosmernom kretanju faza i unakrsnom kretanju faza su iste kao kada faze miruju.

3.8.2. Desorpcija (prenos mase tj. kretanje mobilne komponente iz ~vrste u gasovitu fazu)



materijalni bilans mobilne komponente: $N_A = G_{in} \cdot (Y_1 - Y_2) = L_{in} \cdot (X_1 - X_2)$

jedna~ina radne prave 1-2: $Y - Y_1 = -\frac{L_{in}}{G_{in}} \cdot (X - X_1)$



$Y^*=f(X)$,jedna~ina ravnote`ne linije (ravnote`ni uslovi)

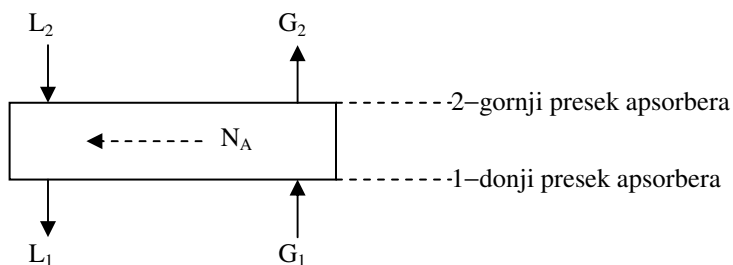
N_A – koli~ina mobilne komponente (molski protok) koja se kre}e iz faze L u fazu G

napomene:

1. sastavi G i L faze se moraju izra`avati u molskim (masenim) odnosima (a ne u udelima)
2. jedna~ina radne prave se uvek nalazi ispod ravnote`ne linije
3. ta~ka 2 se najdalje mo`e na}i na ravnote`noj liniji (ako proces traje do uspostavljanja ravnote`e)
4. jedna~ine i dijagrami koji opisuju razmenu materije pri istosmernom kretanju faza i unakrsnom kretanju faza su iste kao kada faze miruju.

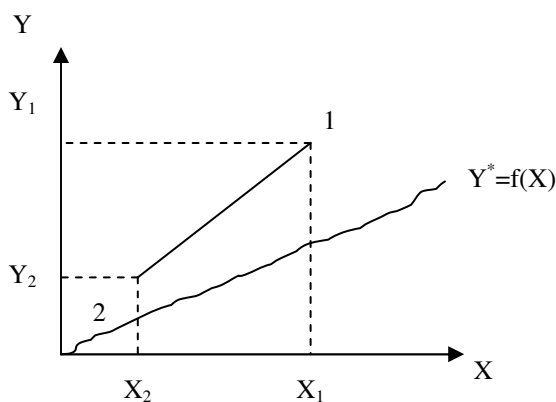
3.9. primeri procesa razmene materije pri kojim se faze kre}u suprotnosmerno:

3.9.1. Apsorpcija (prenos mase tj. kretanje mobilne komponente iz gasovite u te~nu fazu)



materijalni bilans mobilne komponente: $N_A = G_{in} \cdot (Y_1 - Y_2) = L_{in} \cdot (X_1 - X_2)$

jedna~ina radne prave 1-2: $Y - Y_i = \frac{L_{in}}{G_{in}} \cdot (X - X_i)$



$Y^* = f(X)$, jedna~ina ravnote`ne linije (ravnote`ni uslovi)

N_A – koli~ina mobilne komponente (molski protok) koja se kre}e iz faze G u fazu L

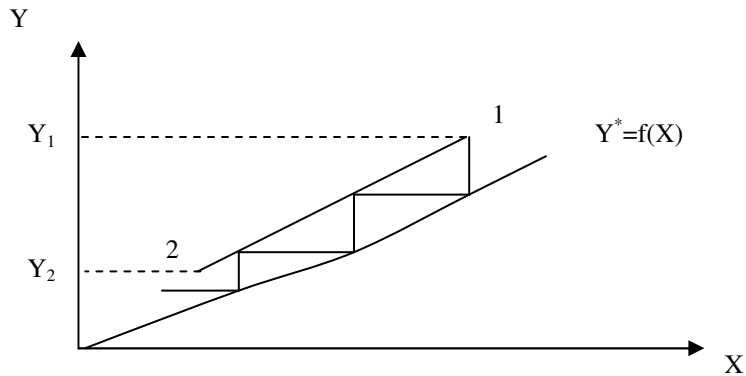
napomene:

1. sastavi G i L faze se moraju izra`avati u molskim (masenim) odnosima (a ne u udelima)
2. jedna~ina radne prave se uvek nalazi iznad ravnote`ne linije

određivanje teorijskog broja jedinica prenosa mase (podova):

procedura:

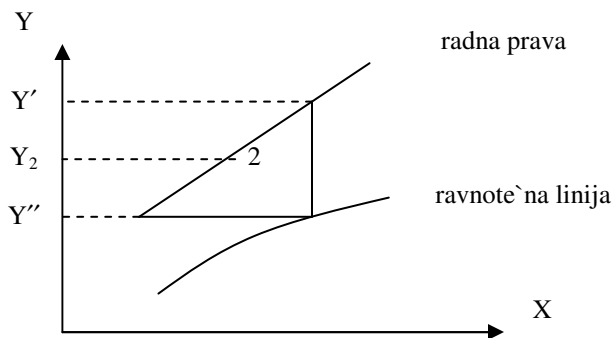
- na osnovu ravnotežnih podataka nacrtana se ravnotežna dijagram u Y-X koordinatnom sistemu
- nacrtana se jednačina radne prave za apsorber
- konstruišu se stepenice između radne i ravnotežne linije počevši od tačke 1 (X₁, Y₁) zaključno sa tačkom 2 (X₂, Y₂)
- broj nacrtanih stepenica = broj teorijskih jedinica prenosa mase (podova), n_t



za situaciju prikazanu na slici: $n_t = 2 + \text{''decimalni deo''}$

određivanje ''decimalnog dela'':

poslednji pod



$$\text{''decimalni deo''} = \frac{Y' - Y_2}{Y' - Y''}$$

napomena:

Ako su ravnotežni uslovi u zadatku zadati analitički (jednačina ravnotežne linije) do teorijskog broja podova se može doći rešavanjem integrala (grafički ili

analitički):
$$n_T = - \int_{Y_1}^{Y_2} \frac{1}{Y - Y^*} dY \quad (\text{vidi zadatak 3.10.})$$

određivanje *minimalno potrebnog protoka te~ne faze* L_{inmin} :

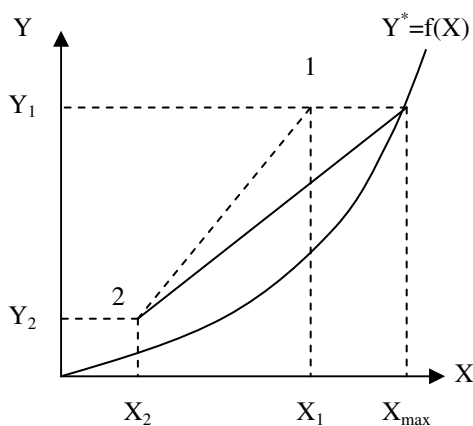
Minimalan protok te~ne faze (L_{inmin}) određuje se iz jedna~ine materijalnog bilansa za mobilnu komponentu:

$$L_{inmin} = G_{in} \cdot \frac{Y_1 - Y_2}{X_{max} - X_2} = \frac{N_A}{X_{max} - X_2},$$

pri ~emu se X_{max} određuje (u zavisnosti od oblika ravnote~ne linije) na na~in:

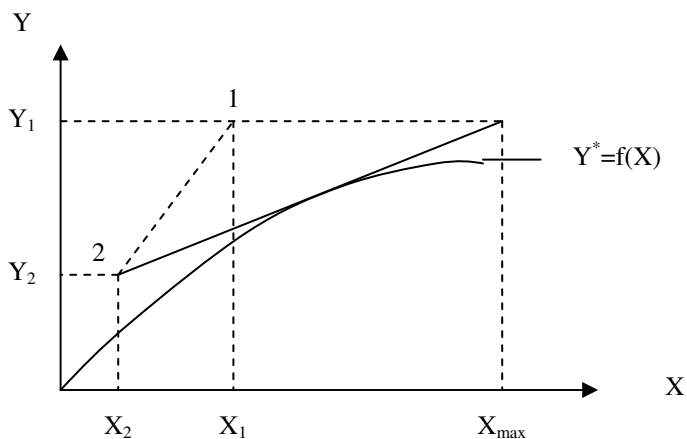
1. Ravnote~na linija je prava ili kriva ispup~ena na dole (konveksna)

- rotira se radna prava 1-2 oko ta~ke 2(X_2, Y_2) u smeru kazaljke na satu
- presek rotirane radne prave sa ravnote~nom linijom defini~e ta~ku u kojoj je $X=X_{max}$

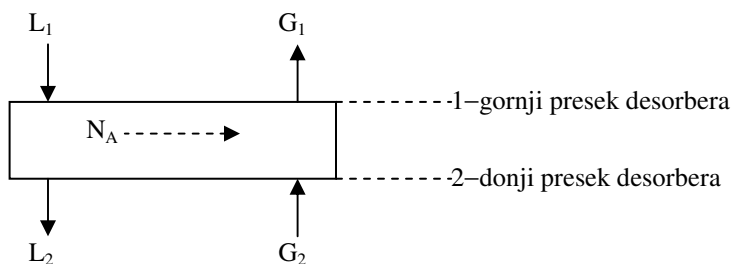


2. Ravnote~na linija je kriva ispup~ena na gore (konkavna)

- rotira se radna prava 1-2 oko ta~ke 2(X_2, Y_2) u smeru kazaljke na satu
- presek rotirane radne prave sa sa linijom $Y_1 = \text{const}$ (pri ~emu rotirana prava tangira ravnote~nu liniju) defini~e ta~ku u kojoj je $X=X_{max}$

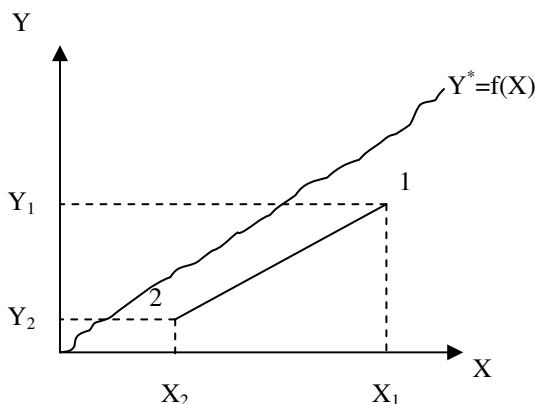


3.9.2. Desorpcija (prenos mase tj. kretanje mobilne komponente iz te-*n*e u gasovitu fazu)



materijalni bilans mobilne komponente: $N_A = G_{in} \cdot (Y_1 - Y_2) = L_{in} \cdot (X_1 - X_2)$

jedna~ina radne prave 1-2: $Y - Y_i = \frac{L_{in}}{G_{in}} \cdot (X - X_i)$



$Y^*=f(X)$,jedna~ina ravnote`ne linije (ravnote`ni uslovi)

N_A – koli~ina mobilne komponente (molski protok) koja se kre}e iz faze L u fazu G

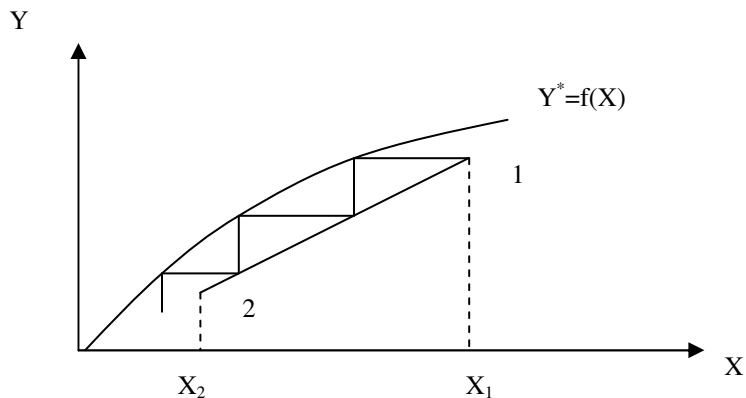
napomene:

1. sastavi G i L faze se moraju izra`avati u molskim (masenim) odnosima (a ne u udelima)
2. jedna~ina radne prave se uvek nalazi ispod ravnote`ne linije

određivanje teorijskog broja jedinica prenosa mase (podova):

procedura:

- na osnovu ravnotežnih podataka nacrtana se ravnotežna dijagram u Y-X koordinatnom sistemu
- nacrtana se jedna ravna radna prava za desorber
- konstruišu se stepenice između radne i ravnotežne linije počevši od tačke 1 (X_1, Y_1) zaključno sa tačkom 2 (X_2, Y_2)
- broj nacrtanih stepenica = broj teorijskih jedinica prenosa mase (podova), n_t



za situaciju prikazanu na slici: $n_t = 2 + \text{"decimalni deo"}$

određivanje "decimalnog dela":

$$\text{"decimalni deo"} = \frac{X_1 - X_2}{X_1 - X_1'}$$

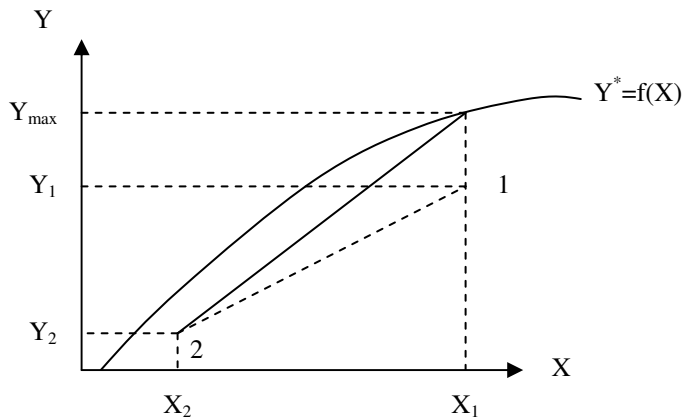
određivanje *minimalno potrebnog protoka gasovite faze* $G_{in,min}$:

Minimalan protok tečne faze ($G_{in,min}$) određuje se iz jednačine materijalnog bilansa za mobilnu komponentu:

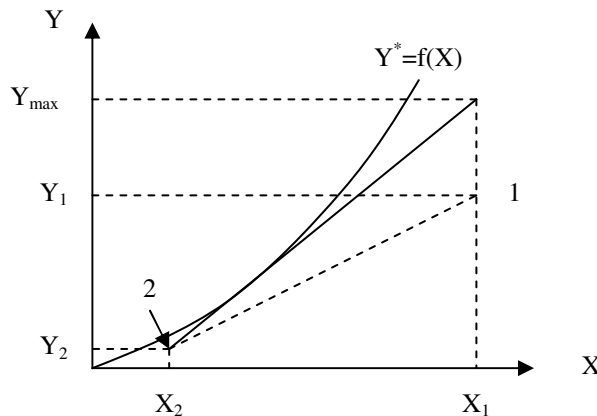
$$G_{in,min} = L_{in} \cdot \frac{X_1 - X_2}{Y_{max} - Y_2} = \frac{N_A}{Y_{max} - Y_2},$$

pri čemu se Y_{max} određuje (u zavisnosti od oblika ravnotežne linije) na način:

1. Ravnotežna linija je prava ili kriva ispušena na gore (kokavna)
 - rotira se radna prava 1-2 oko tačke 2(X_2, Y_2) u smeru obrnutom od smera kazaljke na satu
 - presek rotirane radne prave sa ravnotežnom linijom definiše tačku u kojoj je $Y=Y_{max}$



2. Ravnotežna linija je kriva ispušena na dole (konveksna)
 - rotira se radna prava 1-2 oko tačke 2(X_2, Y_2) u smeru obrnutom od smera kazaljke na satu
 - presek rotirane radne prave sa linijom $X_1 = const$ (pri čemu rotirana prava tangira ravnotežnu liniju) definiše tačku u kojoj je $Y=Y_{max}$



ADSORPCIJA I DESORPCIJA PRI MIROVANJU FAZA
(materijalni bilans mobilne komponente, jedna-ina radne prave)

3.1. Ravnote`ni podaci za sistem koji ~ine vodena para (A), vazduh (C) i silika-gel (B) na pritisku $p=101.3$ kPa i temperaturi od 25°C definisani su tabelom:

\bar{X} , kgA/kgB	0.05	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4
$10^3 \cdot \bar{Y}^*$, kgA/kgC	1.75	3.9	5.88	7.48	9.03	10.47	11.91	13.95

U posudu u kojoj se nalazi $\bar{G}_1=11.77$ kg (A+C) vla`nog vazduha, po~etne vla`nosti $\bar{Y}_1=0.0125$ kgA/kgC, unese se $\bar{L}_1=0.525$ kg(A+B) silika-gela po~etne vla`nosti $\bar{X}_1=0.05$ kgA/kgB. Sistemu se zatim dopusti da dostigne stanje dinami~ke ravnote`e. Sistem se odr`ava na temperaturi od 25°C i pritisku $p=101.3$ kPa. Odrediti:

- sadr`aj vlage u obe faze, \bar{X}_2 (kgA/kgB) i \bar{Y}_2 (kgA/kgC) u trenutku dostizanja dinami~ke ravnote`e
- koli~inu razmenjene vlage \bar{N}_A (kgA)

a)

$$\bar{G}_{in} = \frac{\bar{G}_1}{1 + \bar{Y}_1} = \frac{11.765}{1 + 0.0125} = 11.62 \text{ kgC}, \quad \bar{L}_{in} = \frac{\bar{L}_1}{1 + \bar{X}_1} = \frac{0.525}{1 + 0.05} = 0.5 \text{ kgB}$$

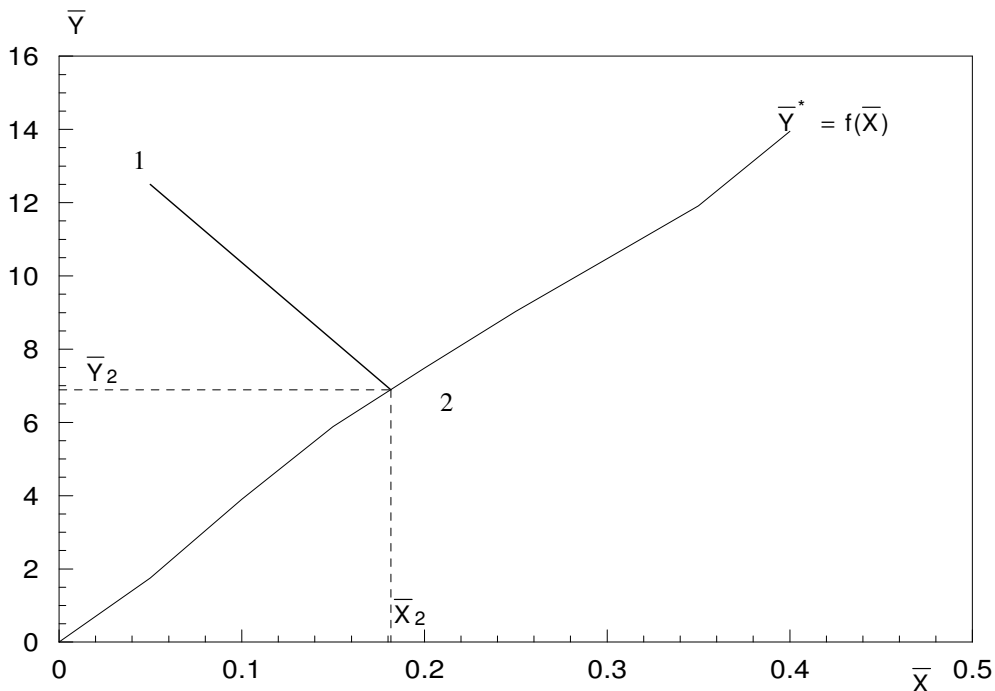
jedna-ina radne prave 1-2:
$$\bar{Y} - \bar{Y}_1 = -\frac{\bar{L}_{in}}{\bar{G}_{in}} \cdot (\bar{X} - \bar{X}_1)$$

$$\bar{Y} - 0.0125 = -\frac{0.5}{11.62} \cdot (\bar{X} - 0.05) \quad \bar{Y} = -0.043 \cdot \bar{X} + 0.0147$$

procedura:

- na osnovu zadatih ravnote`nih podataka konstrui{e se ravnote`ni dijagram
- konstrui{e se radna prava kroz ta~ku 1 (\bar{X}_1, \bar{Y}_1) sa koeficijentom pravca $\text{tg}\alpha = -0.043$
- presek radne prave sa ravnote`nom linijom defini{e polo`aj ta~ke 2 (\bar{X}_2, \bar{Y}_2)

$$\bar{X}_2 = 0.1816 \text{ kgA/kgB}, \quad \bar{Y}_2 = 6.89 \cdot 10^{-3} \text{ kgA/kgC} \quad (\text{pro~itano sa dijagrama})$$



b)

materijalni bilans mobilne komponente (A): $\bar{N}_A = \bar{G}_{in} \cdot (\bar{Y}_1 - \bar{Y}_2)$

$$\bar{N}_A = 11.62 \cdot (0.0125 - 0.00689) = 0.0658 \text{ kgA}$$

3.2. Ravnotežni podaci za sistem koji čine vodena para (A), vazduh (C) i silika-gel (B) na pritisku $p=101.3 \text{ kPa}$ i temperaturi od 25°C definisani su tabelom:

\bar{X} , kgA/kgB	0.05	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4
$10^3 \cdot \bar{Y}^*$, kgA/kgC	1.75	3.90	5.88	7.48	9.03	10.47	11.91	13.95

Vlažan silika-gel, $\bar{L}_1=5.25 \text{ kg(A+B)}$, početne vlažnosti $\bar{X}_1=0.05 \text{ kgA/kgB}$ izložen je struji okolnog vazduha na pritisku $p=101.3 \text{ kPa}$ i temperaturi od 25°C . Parcijalni pritisak vodene pare u okolnom vazduhu iznosi $p_A=1600 \text{ Pa}$. Odrediti količinu vodene pare koju je gel adsorbovao do trenutka dostizanja stanja dinamičke ravnoteže.

$$y_1 = \frac{p_A}{p} = \frac{1600}{101.3 \cdot 10^3} = 0.0158 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmol(A+C)}}$$

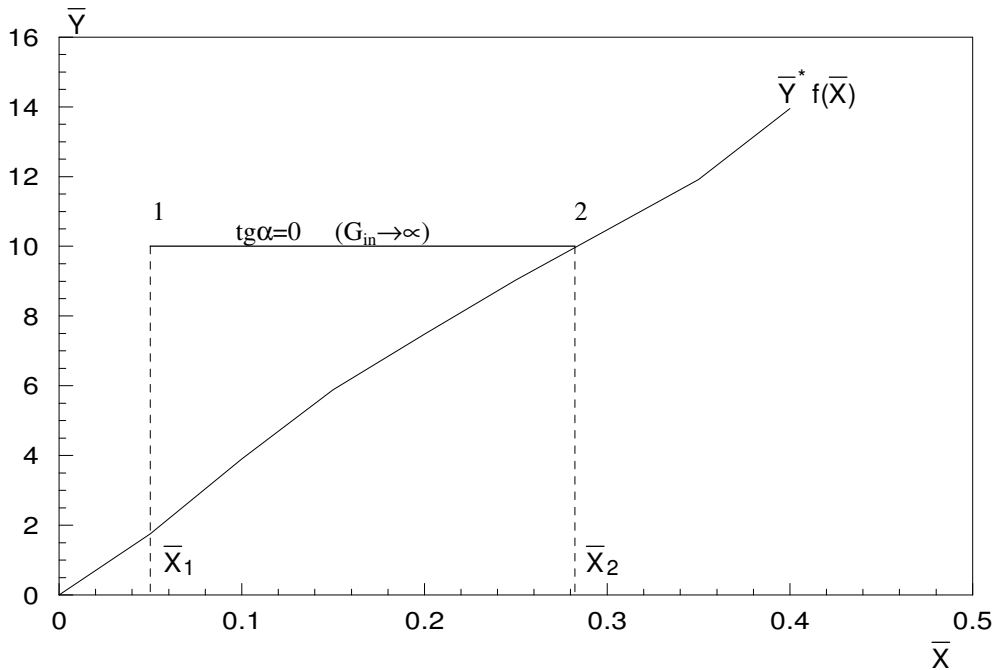
$$\bar{Y} = \frac{M_A}{M_C} \cdot \frac{y}{1-y} = \frac{18}{29} \cdot \frac{0.0158}{1-0.0158} = 0.01 \frac{\text{kgA}}{\text{kgC}}$$

$$\bar{L}_{in} = \frac{\bar{L}_1}{1 + \bar{X}_1} = \frac{5.25}{1 + 0.05} = 5 \text{ kgB} \quad \bar{G}_{in} \rightarrow \infty$$

jedna~ina radne prave 1-2:
$$\bar{Y} - \bar{Y}_1 = -\frac{\bar{L}_{in}}{\bar{G}_{in}} \cdot (\bar{X} - \bar{X}_1)$$

Obzirom da $\bar{G}_{in} \rightarrow \infty$ jedna~ina radne prave glasi: $\bar{Y} - \bar{Y}_1 = 0$ tj. $\bar{Y} = 0.01$
Presek ove radne prave sa jedna~inom ravnote`ne linije defini`e polo`aj ta~ke

$2(\bar{X}_2, \bar{Y}_2)$. Iz dijagrama se pro~ita $\bar{X}_2 = 0.2824$ kgA/kgB.



materijalni bilans mobilne komponente (A):
$$\bar{N}_A = \bar{L}_{in} \cdot (\bar{X}_2 - \bar{X}_1)$$

$$\bar{N}_A = 5 \cdot (0.2824 - 0.05) = 1.619 \text{ kgA}$$

napomena:

Uo~iti da u ovom zadatku obe faze ne miruju, ve} samo jedna (~vrsta faza). U ovakvim slu~ajevima koriste se isti matemati~ki modeli (jedna~ine) kao da obe faze miruju.

3.3. Ravnotežni podaci za sistem koji čini vodena para (A), sapun (C) i vazduh (B) na pritisku $p=101.3$ kPa i temperaturi $T=323$ K definisani su tabelom:

$10^3 \cdot \bar{x}$, kgA/kg(A+C)	0	24	37.6	47.6	78.3	99	154	190.2
p_A^* , Pa	0	1288	2559	3786	6185	7331	9584	10597

4.5 kg vlažnog sapuna sa ravnomerno rasporelenom vlagom početne koncentracije $\bar{x}_1=0.167$ kgA/kg(A+C), nalazi se u rezervoaru zapremine $V=4.25$ m³ zajedno sa vlažnim vazduhom u kome parcijalni pritisak vodene pare iznosi $p_{A1}=1600$ Pa na temperaturi od $T=323$ K i pritisku $p=101.3$ kPa. Tokom vremena sapun se suši, a kada koncentracija vlage u sapunu dostigne vrednost $\bar{x}_2=0.13$ kgA/kg(A+C), ovlaženi vazduh se zameni svežim (parcijalni pritisak vodene pare u njemu takole iznosi $p_A=1600$ Pa). Zatim se proces nastavlja do dostizanja stanja dinamičke ravnoteže (stanje 4). Predstaviti ovako definisan proces sušenja u \bar{X}, \bar{Y} koordinatnom sistemu i odrediti:

- sadržaj vlage u sapunu na kraju procesa sušenja, \bar{x}_4 (kgA/kg(A+C))
- količinu vlage koju smo odstranili iz sapuna pre i posle zamene vazduha

a)

stanje 1:

$$\bar{X}_1 = \frac{\bar{x}_1}{1 - \bar{x}_1} = \frac{0.167}{1 - 0.167} = 0.2 \frac{\text{kgA}}{\text{kgC}}$$

$$y_1 = \frac{p_{A1}}{p} = \frac{1600}{101.3 \cdot 10^3} = 0.0158 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmol(A+B)}}$$

$$\bar{Y}_1 = \frac{y_1}{1 - y_1} \cdot \frac{M_A}{M_B} = \frac{0.0158}{1 - 0.0158} \cdot \frac{18}{29} = 0.01 \frac{\text{kgA}}{\text{kgB}}$$

$$M_A = 18 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}} \text{ molska masa vodene pare}$$

$$M_B = 29 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}} \text{ molska masa suvog vazduha}$$

$$\bar{L}_{in} = \frac{\bar{L}_1}{1 + \bar{X}_1} = \frac{4.5}{1 + 0.2} = 3.75 \text{ kgC}$$

$$\bar{G}_{in} = ?$$

jednina stanja idealnog gasa za suv vazduh:

$$\bar{G}_{in} = \frac{p_B \cdot V}{R_g \cdot T} = \frac{(p - p_A) \cdot V}{R_g \cdot T} = \frac{(101.3 \cdot 10^3 - 1600) \cdot 4.25}{287 \cdot 323} = 4.57 \text{ kgB}$$

$$R_g = 287 \frac{\text{J}}{\text{kgK}}, \text{ gasna konstanta za suv vazduh}$$

stanje 2:

$$\bar{X}_2 = \frac{\bar{x}_2}{1 - x_2} = \frac{0.13}{1 - 0.13} = 0.149 \frac{\text{kgA}}{\text{kgC}} \quad \bar{Y}_2 = ?$$

materijalni bilans mobilne komponente za proces 1-2:

$$\bar{G}_{in} \cdot (\bar{Y}_1 - \bar{Y}_2) = \bar{L}_{in} \cdot (\bar{X}_1 - \bar{X}_2) \quad \Rightarrow \quad \bar{Y}_2 = \bar{Y}_1 + \frac{\bar{L}_{in}}{\bar{G}_{in}} \cdot (\bar{X}_1 - \bar{X}_2)$$

$$\bar{Y}_2 = 0.01 + \frac{3.75}{4.57} \cdot (0.2 - 0.149) = 0.046 \frac{\text{kgA}}{\text{kgB}}$$

stanje 3:

$$\bar{X}_3 = \bar{X}_2 = 0.149 \frac{\text{kgA}}{\text{kgC}} \quad \bar{Y}_3 = \bar{Y}_1 = 0.01 \frac{\text{kgA}}{\text{kgB}}$$

stanje 4:

$$\text{jedna~ina radne prave 3-4:} \quad \bar{Y} - \bar{Y}_3 = -\frac{\bar{L}_{in}}{\bar{G}_{in}} \cdot (\bar{X} - \bar{X}_3)$$

$$\bar{Y} - 0.01 = -\frac{3.75}{4.57} \cdot (\bar{X} - 0.149) \quad \bar{Y} = -0.8205 \cdot \bar{X} + 0.1323$$

- Ucrta se na ravnote`ni dijagram radna prava 3-4 kroz ta-ku 3(\bar{X}_3, \bar{Y}_3) sa koeficijentom pravca $\text{tg}\alpha = -0.8205$
- presek radne prave sa ravnote`nom linijom defini`e polo`aj ta-ke 4(\bar{X}_4, \bar{Y}_4)

$$\bar{X}_4 = 0.1055 \frac{\text{kgA}}{\text{kgC}} \quad \bar{Y}_4 = 0.0458 \frac{\text{kgA}}{\text{kgB}} \quad (\text{pro~itano iz dijagrama})$$

b)

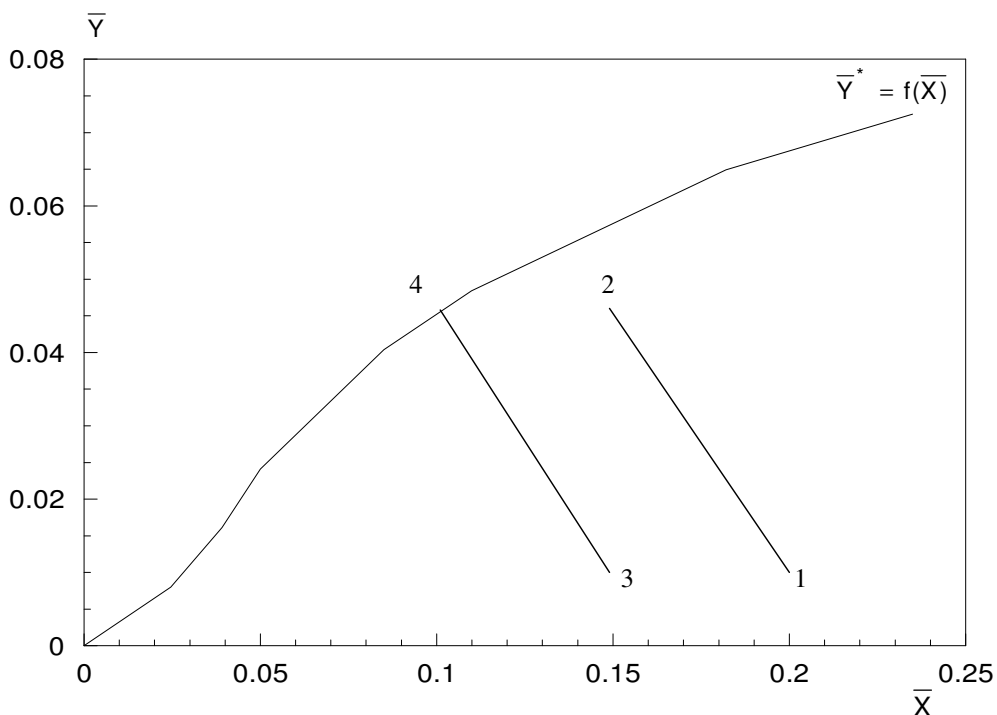
$$\bar{N}_{A1} = \bar{L}_{in} \cdot (\bar{X}_1 - \bar{X}_2) \quad \bar{N}_{A1} = 3.75 \cdot (0.2 - 0.149) = 0.191 \text{ kgA}$$

$$\bar{N}_{A2} = \bar{L}_{in} \cdot (\bar{X}_3 - \bar{X}_4) \quad \bar{N}_{A2} = 3.75 \cdot (0.149 - 0.1055) = 0.163 \text{ kgA}$$

procedura za crtanje ravnotežnog dijagrama u \bar{X}, \bar{Y} koordinatnom sistemu:

Na osnovu zadatih tabelarnih vrednosti u \bar{x}, p koordinatnom sistemu prerađuna se nova tabela u \bar{X}, \bar{Y} koordinatnom sistemu na način:

$$\bar{X} = \frac{\bar{x}}{1-\bar{x}} \quad \bar{Y} = \frac{p_A}{p-p_A} \cdot \frac{M_A}{M_B}$$



zadatak za vežbanje: (3.4.)

3.4. 1.2 kg vlažnog silika-gela početne vlažnosti $\bar{X}_1 = 0.2 \text{ kgA/kgB}$ stavi se u posudu sa suvim vazduhom $\text{O}_2(\text{C})$ zapremine $V = 15 \text{ m}^3$. Temperatura u sistemu se održava na $T = 298 \text{ K}$, a pritisak na početku procesa iznosi $p_1 = 100 \text{ kPa}$. Odrediti sadržaj vlage u vlažnom vazduhu i osušenom silika-gelu kao i apsolutni pritisak u posudi u trenutku dostizanja stanja dinamičke ravnoteže. Zanimariti zapreminu silika-gela. Ravnotežni uslovi definišu se tabelom iz zadatka 3.1.

rešenje: $\bar{X}_2 = 0.1184 \text{ kgA/kgB}$, $\bar{Y}_2 = 4.65 \cdot 10^{-3} \text{ kgA/kgC}$, $p_2 = 100.3 \text{ kPa}$

APSORPCIJA I DESORPCIJA PRI SUPROTNOSMERNOM KRETANJU FAZA

3.5. U suprotnosmernom apsorberu vrši se apsorpcija benzola (A) iz smeše benzola i vazduha (B) pomoću istog neisparljivog ulja (C). Gasna mešavina na ulazu u kolonu ima sastav $y_1=0.025$ kmol A/kmol (A+B). Zahtevana koncentracija benzola na izlazu iz kolone iznosi $y_2=0.008$ kmol A/kmol (A+B). Molski protok gasne mešavine na ulazu u apsorber iznosi $G_1=30.77$ kmol(A+B)/h, a molski protok tečne faze na ulazu u apsorber iznosi $L_1=L_{in}=3$ kmolC/h. Odrediti:

- sastav tečne faze na izlazu iz aparata, X_1 (kmolA/kmolC)
- teorijski broj jedinica prenosa mase, n_T
- količinu benzola koja se apsorbuje u ulju, N_A (kmolA/h)
- stepen apsorpcije benzola u aparatu, s_A (mol%)

ravnoteža u sistemu definiše se tabelom:

X, kmolA/kmolC	0	0.05	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3
Y, kmolA/kmolB	0	0.0066	0.0133	0.0200	0.0268	0.0336	0.0405

a)

$$Y_1 = \frac{y_1}{1-y_1} = \frac{0.025}{1-0.025} = 0.0256 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmolB}}$$

$$Y_2 = \frac{y_2}{1-y_2} = \frac{0.008}{1-0.008} = 0.00806 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmolB}}$$

$$X_2 = 0 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmolC}} \quad (\text{ulje ulazi isto})$$

$$G_{in} = \frac{G_1}{1+Y_1} = \frac{30.77}{1+0.0256} = 30 \frac{\text{kmolB}}{\text{h}}$$

$$G_{in} \cdot (Y_1 - Y_2) = L_{in} \cdot (X_1 - X_2) \quad \Rightarrow \quad X_1 = X_2 + \frac{G_{in} \cdot (Y_1 - Y_2)}{L_{in}}$$

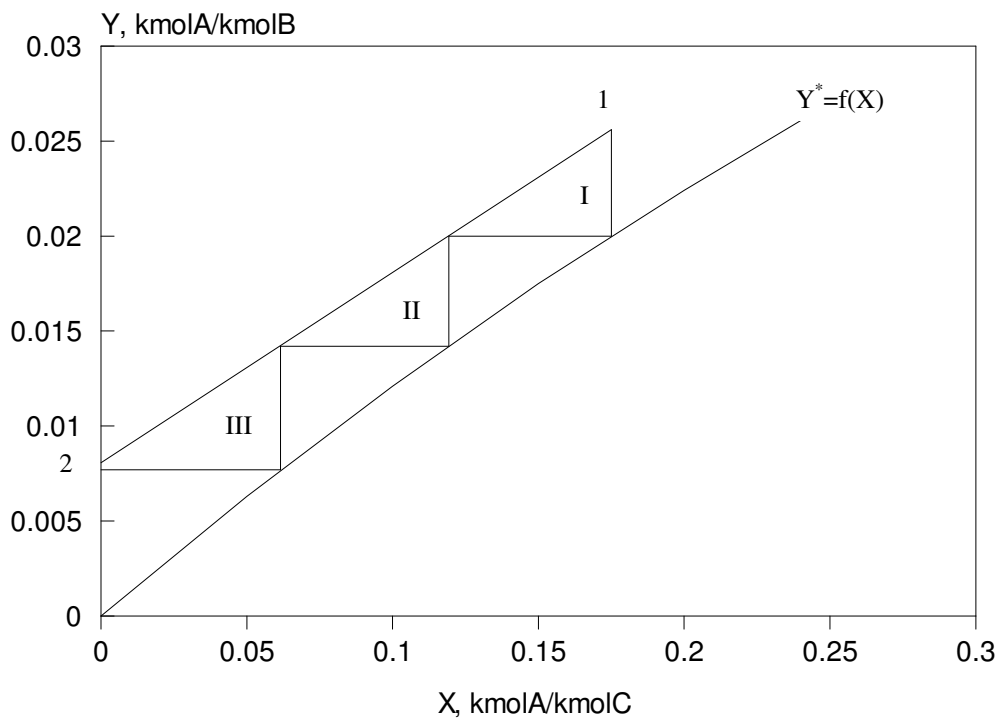
$$X_1 = 0 + \frac{30 \cdot (0.0256 - 0.00806)}{3} = 0.175 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmolC}}$$

b)

procedura:

- na osnovu ravnotežnih podataka nacrtati se ravnotežna linija u Y, X koordinatnom sistemu
- nacrtati se radna prava kroz tačke 1(X_1, Y_1) i 2(X_2, Y_2)
- ucrtaju stepenice između radne prave i ravnotežne linije počevši od tačke 1(X_1, Y_1) završavajući sa tačkom 2(X_2, Y_2)
- broj stepenica = broj teorijskih podova

$n_T = 3$ (vidi sliku)



c)

$$N_A = G_{in} \cdot (Y_1 - Y_2) = 30 \cdot (0.0256 - 0.00806) = 0.5262 \frac{\text{kmolA}}{\text{h}}$$

d)

$$s_A = \frac{\text{molski protok benzola koji se apsorbuje}}{\text{molski protok benzola koji ulazi u aparat}}$$

$$s_A = \frac{N_A}{E_{in} \cdot Y_1} = \frac{E_{in} \cdot (Y_1 - Y_2)}{E_{in} \cdot Y_1} = \frac{Y_1 - Y_2}{Y_1} = \frac{0.0256 - 0.00806}{0.0256} = 0.685$$

$$s_A = 68.5 \text{ mol\%}$$

3.6. U suprotnosmernom apsorberu obavlja se proces apsorpcije komponente A iz gasne me{avine (A+B) pomo}u ~iste vode ©©©(C). Protok gasne me{avine na ulazu u apsorber iznosi $G_1=11.5$ kmol(A+B)/h, a sastav $Y_1=0.15$ kmolA/kmolB. Stepen apsorpcije komponente A iznosi $s_A=90$ mol%.

Ravnote`a u sistemu defini{e se jedna~inom $Y^* = 5 \cdot X$, gde je: Y (kmolA/kmolB) i X (kmolA/kmolC). Odrediti:

- minimalno potreban protok vode na ulazu ukolonu, (kgC/h)
- broj jedinica prenosa mase ako je protoku vode za 60 mol% ve}i od minimalnog

a)

$$s_A = \frac{Y_1 - Y_2}{Y_1} \Rightarrow Y_2 = Y_1 - s_A \cdot Y_1 = 0.15 - 0.9 \cdot 0.15 = 0.015$$

$$X_2 = 0 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmolC}} \quad (\text{voda ulazi ~ista})$$

Po{to je protok te~ne faze minimalan, a ravnote`na linija je prava, ta~ka

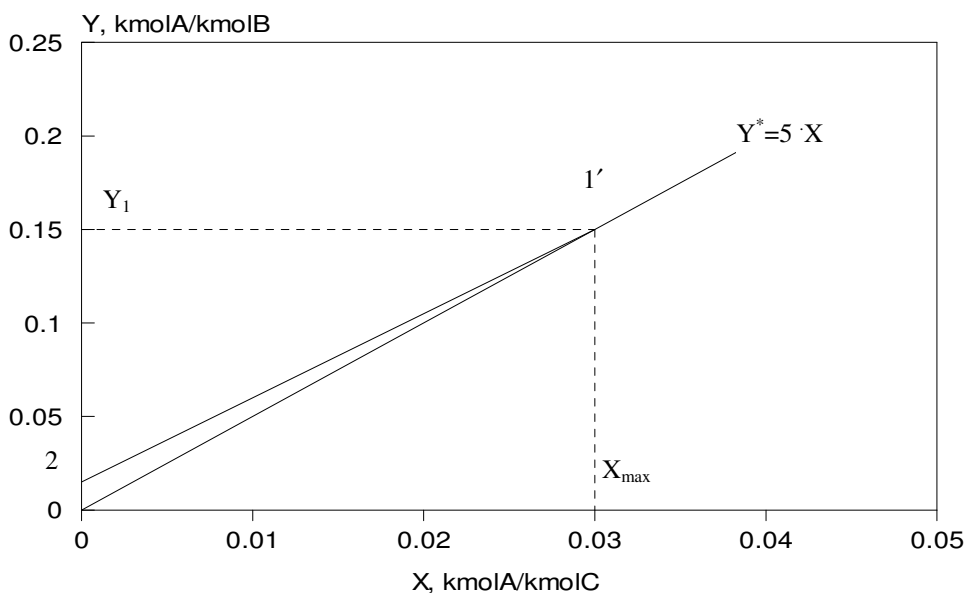
$$1'(X_{\max}, Y_1) \text{ se nalazi na ravnote`noj liniji tj. } X_{\max} = \frac{Y_1}{5} = \frac{0.15}{5} = 0.03 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmolC}}$$

$$G_{\text{in}} = \frac{G_1}{1 + Y_1} = \frac{11.5}{1 + 0.15} = 10 \frac{\text{kmolB}}{\text{h}}$$

$$G_{\text{in}} \cdot (Y_1 - Y_2) = L_{\text{inmin}} \cdot (X_{\max} - X_2) \Rightarrow L_{\text{inmin}} = G_{\text{in}} \cdot \frac{Y_1 - Y_2}{X_{\max} - X_2}$$

$$L_{\text{inmin}} = \frac{10 \cdot (0.15 - 0.015)}{0.03 - 0} = 45 \frac{\text{kmolC}}{\text{h}}$$

$$\bar{L}_{\text{inmin}} = L_{\text{inmin}} \cdot M_C = 45 \cdot 18 = 810 \frac{\text{kgC}}{\text{h}}$$

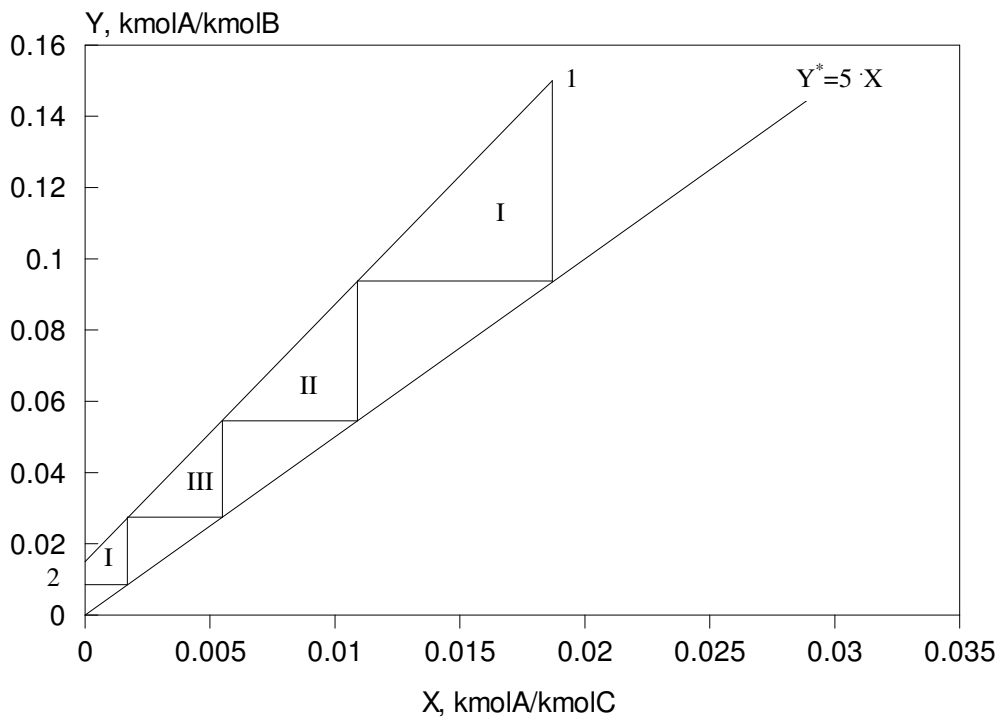


b)

$$L_{in} = 1.6 \cdot L_{inmin} = 72 \frac{\text{kmolC}}{\text{h}}$$

$$L_{inmin} \cdot (X_{max} - X_2) = L_{in} \cdot (X_1 - X_2) \Rightarrow X_1 = \frac{L_{inmin}}{L_{in}} \cdot X_{max}$$

$$X_1 = \frac{45}{72} \cdot 0.03 = 0.01875 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmolC}}$$



$$n_T = 3.6$$

3.7. Protivstrujna apsorpciona kolona, sa teoretijskim stepenom kontakta, koristi se za izdvajanje amonijaka (A) iz gasne mešavine amonijaka i vazduha (B) koja sadrži 3 mol% amonijaka. ApSORpcija se vrši razblaženim rastvorom amonijaka u vodi (C). Sadržaj amonijaka u izlaznom vodenom rastvoru je 2.6 mol%. Odnos protoka tečne i gasne faze na dnu kolone iznosi 1.196 kmol(A+C)/kmol(A+B). Odrediti:

- a) molske udele amonijaka u prečišćenom gasu i ulaznom vodenom rastvoru
 b) višak tečne faze (mol%) sa kojom kolona radi

ravnoteže u sistemu definiše se tabelom:

$X, \frac{\text{kmolA}}{\text{kmolC}}$	0.002	0.005	0.01	0.015	0.02	0.025	0.03
$Y, \frac{\text{kmolA}}{\text{kmolC}}$	0.0009	0.0025	0.0057	0.0097	0.0147	0.0212	0.0284

a)

$$Y_1 = \frac{y_1}{1 - y_1} = \frac{0.03}{1 - 0.03} = 0.03093 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmolB}}$$

$$X_1 = \frac{x_1}{1 - x_1} = \frac{0.026}{1 - 0.026} = 0.02669 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmolB}}$$

$$\frac{L_1}{G_1} = 1.196 \quad \Rightarrow \quad \frac{L_{in} \cdot (1 + Y_1)}{G_{in} \cdot (1 + X_1)} = 1.196 \quad \Rightarrow \quad \frac{L_{in}}{G_{in}} = 1.196 \cdot \frac{1 + X_1}{1 + Y_1}$$

$$\frac{L_{in}}{G_{in}} = 1.196 \cdot \frac{1 + 0.02669}{1 + 0.03093} = 1.2 \frac{\text{kmolC}}{\text{kmolB}}$$

$$\text{jednina radne pravce 1-2: } Y - Y_1 = \frac{L_{in}}{G_{in}} \cdot (X - X_1)$$

$$Y - 0.03093 = 1.2 \cdot (X - 0.02669) \quad \Rightarrow \quad Y = 1.2 \cdot X - 0.001$$

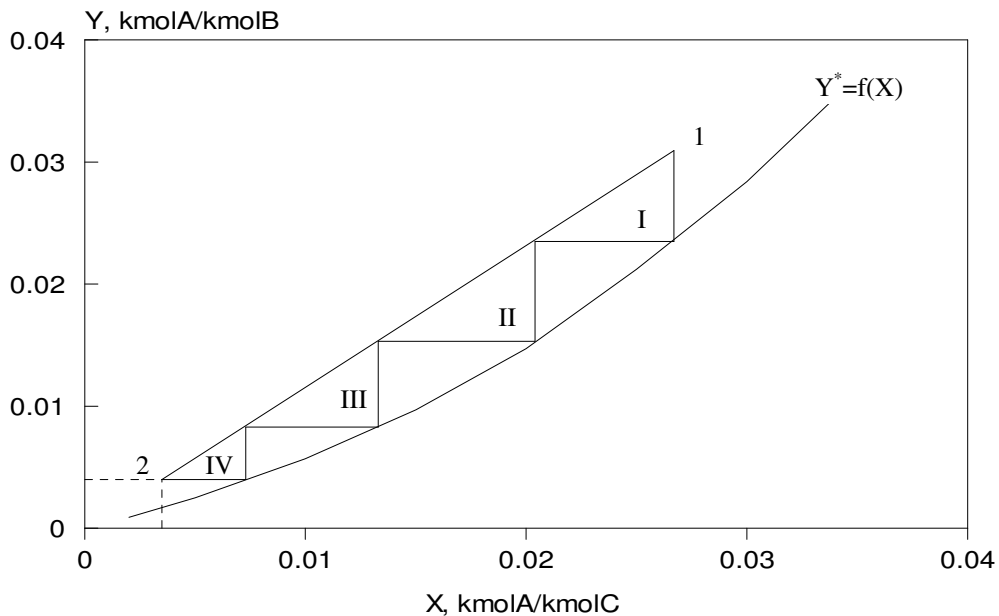
procedura:

- na osnovu ravnotežnih podataka konstruiše se ravnotežni dijagram
- konstruiše se radna prava kroz tačku 1(X_1, Y_1) sa koeficijentom pravca $\text{tg}\alpha = 1.2$
- konstruišu se 4 stepenice između radne pravce i ravnotežne linije
- završetak 4 stepenice na radnoj pravci definiše položaj tačke 2

$$X_2 = 0.0035 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmolC}}, \quad Y_2 = 0.004 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmolB}} \quad \text{pročitano iz dijagrama}$$

$$x_2 = \frac{X_2}{1 + X_2} = \frac{0.0035}{1 + 0.0035} = 0.00349 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmol(A + C)}}$$

$$y_2 = \frac{Y_2}{1 + Y_2} = \frac{0.004}{1 + 0.004} = 0.00398 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmol(A + B)}}$$

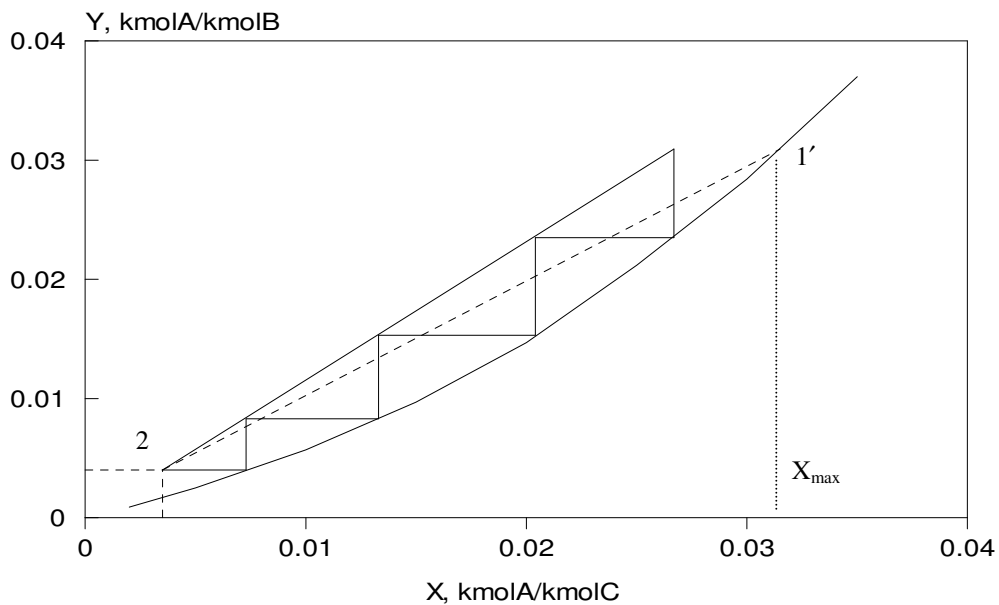


b)

$$X_{\max} = 0.0315 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmolC}} \quad \text{pro-itano iz dijagrama}$$

$$L_{\text{in}} \cdot (X_1 - X_2) = L_{\text{in, min}} \cdot (X_{\max} - X_2) \quad \Rightarrow \quad \frac{L_{\text{in}}}{L_{\text{in, min}}} = \frac{X_{\max} - X_2}{X_1 - X_2}$$

$$\frac{L_{\text{in}}}{L_{\text{in, min}}} = \frac{0.0315 - 0.0035}{0.02669 - 0.0035} = 1.2 \quad \text{vi{ak te~ne faze je 20 mol\%}$$



3.8. U suprotnosmernom apsorberu obavlja se proces apsorpcije benzola (A) iz gasne me{avine (A+B) pomo}u ~istog mineralnog ulja ©©©(C). Protok gasne me{avine na ulazu u apsorber iznosi $G_1=272$ kmol(A+B)/h, a sastav $y_1=0.05$ kmolA/kmol(A+B). Stepenn apsorpcije komponente A iznosi $s_A=90$ mol%. Pritisak i temperatura u apsorberu iznose $p=101$ kPa, $T=300$ K. Rastvor benzola u ulju pokorava se Raulovom zakonu. Napon pare benzola na $T=300$ K iznosi $p^0=13.7$ kPa. Odrediti protok ulja na ulazu u kolonu, (kmolC/h) ako je on za 30% ve}i od minimalno potrebnog.

$$Y_1 = \frac{y_1}{1-y_1} = \frac{0.05}{1-0.05} = 0.0526 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmolB}}$$

$$s_A = \frac{Y_1 - Y_2}{Y_1} \Rightarrow Y_2 = Y_1 - s_A \cdot Y_1 = 0.05 - 0.9 \cdot 0.05 = 0.005$$

$$X_2 = 0 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmolC}} \quad (\text{ulje ulazi ~isto})$$

jedna~ina ravnote`ne linije:

kombinacijom Raulovog i Daltonovog zakona dobija se:

$$y^* \cdot p = x \cdot p^0 \Rightarrow y^* = \frac{p^0}{p} \cdot x \Rightarrow$$

$$y^* = \frac{13.7}{101.3} \cdot x \Rightarrow y^* = 0.136 \cdot x \Rightarrow$$

$$\frac{Y^*}{Y^* + 1} = 0.136 \cdot \frac{X}{1+X} \Rightarrow Y^* = \frac{0.136 \cdot X}{1+0.864 \cdot X}$$

$$\frac{\partial Y}{\partial X} = \frac{0.136}{(1+0.864X)^2} \Rightarrow \frac{\partial^2 Y}{\partial X^2} = \frac{-0.272}{1+0.864X} < 0$$

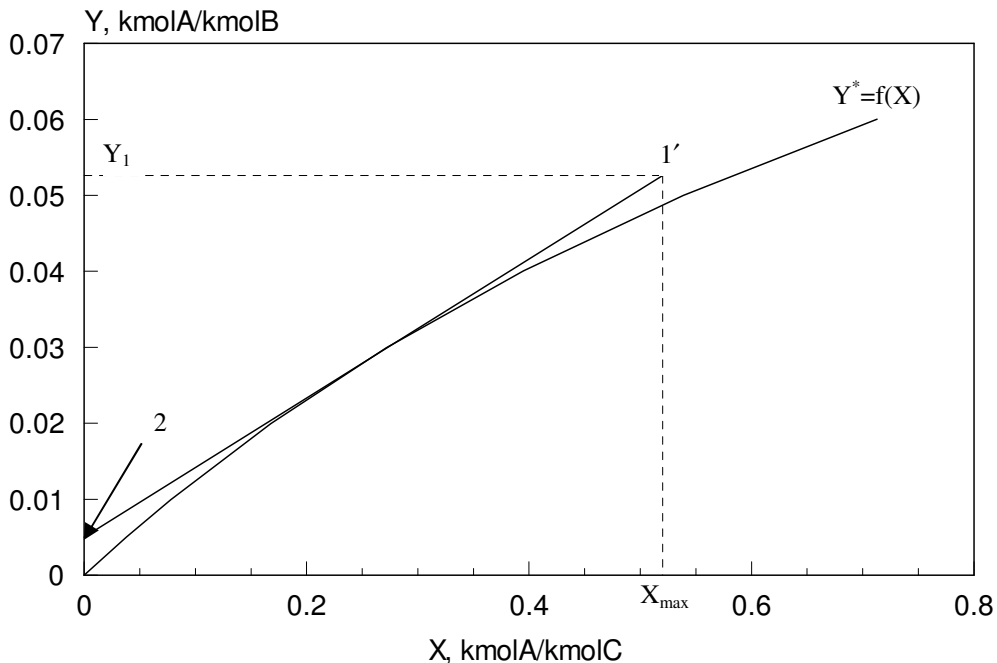
Po{to je drugi izvod funkcije $Y^*=f(X)$ negativan to zna~I da je ravnote`na linija ispup~ena na gore pa se zadatak mora re{avati grafi~ki. To je posledica ~injenice da u ovakvim slu~ajevima radna prava pri minimalnom protoku te~ne faze mora tangirati ravnote`nu liniju tj. ta~ka 1' se ne nalazi na ravnote`noj liniji.

tabelarni prikaza jedna~ine ravnote`ne linije, $Y^* = \frac{0.136 \cdot X}{1+0.864 \cdot X}$:

X $\frac{\text{kmolA}}{\text{kmolC}}$	0	0.038	0.078	0.168	0.272	0.395	0.539	0.713
Y $\frac{\text{kmolA}}{\text{kmolB}}$	0	0.005	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06

procedura:

- na osnovu tabelarnih vrednosti konstrui{e se ravnote`ni dijagram
- konstrui{e se radna prava kroz ta~ku 2(X_2, Y_2) tako da tangira ravnote`nu liniju
- presek radne prave sa linijom $Y_1=\text{const}$ defini{e polo`aj ta~ke u kojoj je $X=X_{\text{max}}$



$$X_{\text{max}} = 0.52 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmolC}}, \text{ pro~itano sa dijagrama}$$

$$G_{\text{in}} \cdot (Y_1 - Y_2) = L_{\text{in min}} \cdot (X_{\text{max}} - X_2) \quad \Rightarrow \quad L_{\text{in min}} = G_{\text{in}} \cdot \frac{Y_1 - Y_2}{X_{\text{max}} - X_2}$$

$$L_{\text{in min}} = \frac{272 \cdot (0.0526 - 0.005)}{0.52 - 0} = 24.9 \frac{\text{kmolC}}{\text{h}}$$

$$L_{\text{in}} = 1.3 \cdot L_{\text{in min}} = 1.3 \cdot 24.9 = 32.37 \frac{\text{kmolC}}{\text{h}}$$

3.9. U suprotnosmernom apsorberu apsorbuje se benzol (A) iz mešavine benzola i vazduha (B) pomoću istog neisparljivog ulja (C). Ravnoteža u sistemu definiše se Henrijevim zakonom, pri čemu vrednost Henrijeve konstante iznosi $H=10.13$ kPa a apsolutni pritisak iznosi $p=101.3$ kPa. Gasna mešavina na ulazu u apsorber ima sastav $y_1=0.025$ kmolA/kmol(A+B), a na izlazu $y_2=0.01$

kmolA/kmol(A+B) a maseni protok gasne mešavine na ulazu u apsorber iznosi $\bar{G}_1=0.2$ kg (A+B)/s.

Koncentracija benzola u tečnosti koje napušta aparat je $x_1=0.2$ kmolA/kmol(A+C). Odrediti:

- molski protok ulja kroz apsorber (kmolC/h)
- teorijski broj stepena kontakta

Molska masa benzola iznosi $M_A=78$ kg/kmol, $M_B=29$ kg/kmol

a)

$$M_{G_1} = y_1 \cdot M_A + (1 - y_1) \cdot M_B = 0.025 \cdot 78 + (1 - 0.025) \cdot 29 = 30.225 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}}$$

$$G_1 = \frac{\bar{G}_1}{M_{G_1}} = \frac{0.2}{30.225} = 6.617 \cdot 10^{-3} \frac{\text{kmol(A+B)}}{\text{s}} = 23.82 \frac{\text{kmol(A+B)}}{\text{h}}$$

$$Y_1 = \frac{y_1}{1 - y_1} = \frac{0.025}{1 - 0.025} = 0.0256 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmolB}}$$

$$Y_2 = \frac{y_2}{1 - y_2} = \frac{0.01}{1 - 0.01} = 0.0101 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmolB}}$$

$$X_1 = \frac{x_1}{1 - x_1} = \frac{0.2}{1 - 0.2} = 0.25 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmolB}}$$

$$X_2 = 0 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmolC}} \quad (\text{ulje ulazi čisto})$$

$$G_{in} = \frac{G_1}{1 + Y_1} = \frac{23.82}{1 + 0.0256} = 23.23 \frac{\text{kmolB}}{\text{h}}$$

$$G_{in} \cdot (Y_1 - Y_2) = L_{in} \cdot (X_1 - X_2) \quad \Rightarrow \quad L_{in} = \frac{G_{in} \cdot (Y_1 - Y_2)}{X_1 - X_2}$$

$$L_{in} = \frac{23.23 \cdot (0.0256 - 0.0101)}{0.25 - 0} = 1.44 \frac{\text{kmolC}}{\text{h}}$$

b)

$$\text{jedna~ina radne prave 1-2: } Y - Y_2 = \frac{L_{in}}{G_{in}} \cdot (X - X_2)$$

$$Y - 0.0101 = \frac{1.44}{23.23} \cdot (X - 0) \quad \Rightarrow \quad Y = 0.062 \cdot X + 0.0101$$

$$\text{jedna~ina ravnote`ne linije: } y^* = \frac{H}{p} \cdot x \quad \Rightarrow \quad y^* = \frac{10.13}{101.3} \cdot x$$

$$y^* = 0.1 \cdot x \quad \Rightarrow \quad \frac{Y^*}{1+Y} = 0.1 \cdot \frac{X}{1+X} \quad \Rightarrow \quad Y^* = \frac{0.1 \cdot X}{1+0.9 \cdot X}$$

stavi se $Y=0.0256$ u jedna~inu radne prave:

$$X = \frac{Y + 0.0101}{0.062} = \frac{0.0256 - 0.0101}{0.062} = 0.25 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmolC}}$$

vрати se $X=0.25$ u jedna~inu ravnote`ne linije:

$$Y = \frac{0.1 \cdot X}{1 + 0.9 \cdot X} = \frac{0.1 \cdot 0.25}{1 + 0.9 \cdot 0.25} = 0.0204 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmolB}} > Y_2 \quad (\text{prvi pod})$$

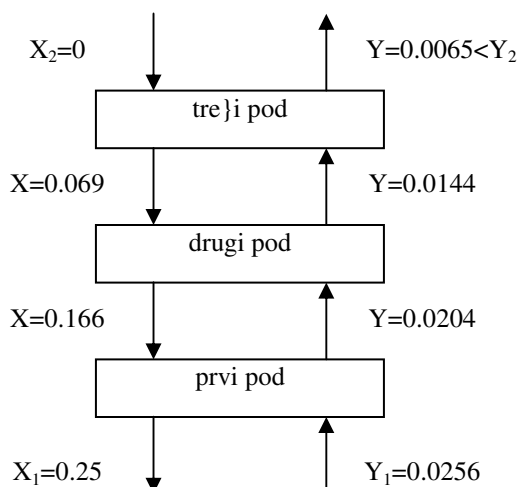
$$X = \frac{Y + 0.0101}{0.062} = \frac{0.0204 - 0.0101}{0.062} = 0.166 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmolC}}$$

$$Y = \frac{0.1 \cdot X}{1 + 0.9 \cdot X} = \frac{0.1 \cdot 0.166}{1 + 0.9 \cdot 0.166} = 0.0144 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmolB}} > Y_2 \quad (\text{drugi pod})$$

$$X = \frac{Y + 0.0101}{0.062} = \frac{0.0144 - 0.0101}{0.062} = 0.069 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmolC}}$$

$$Y = \frac{0.1 \cdot X}{1 + 0.9 \cdot X} = \frac{0.1 \cdot 0.069}{1 + 0.9 \cdot 0.069} = 0.0065 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmolB}} < Y_2 \quad (\text{tre}i \text{ i poslednji pod})$$

$$n_t = 2 + \frac{0.0144 - 0.0101}{0.0144 - 0.0065} = 2.54 \quad (\text{broj teorijskih stepena kontakta})$$



napomena:

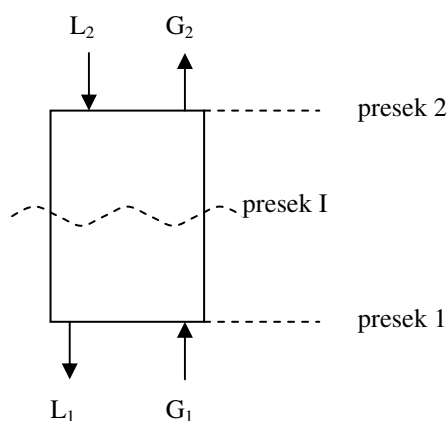
Do teorijskog broja podova se može doći i uobičajenim postupkom crtanja stepenica između radne i ravnotežne linije.

3.10. Protivstrujna apsorpcijska kolona koristi se za izdvajanje propana (A) iz gasne smjese (A+B). Gasna smjesa na ulazu u kolonu ima 13.2 mol% propana, a izlazni tečni rastvor (A+C) sadrži 9.42

mol% propana. Odnos protoka inertnih komponenti je $\frac{L_{in}}{G_{in}} = 1.25 \frac{\text{kmolC}}{\text{kmolB}}$. U jednom preseku kolone

(presek I) određeno je da gasna faza ima 8.26 mol% propana, a da su koeficijenti kolektivnog prelaza mase β_x i β_y brojno jednaki. Ravnotežni uslovi u sistemu definišu se jednačinom $y=1.075 \cdot x$.

- za posmatrani presek kolone odrediti sastav tečne faze i sastave na granici faza
- odrediti broj teorijskih jedinica prenosa mase metodom grafičke integracije za slučaj da tečni rastvor na ulazu u apsorber ne sadrži propan



a)

$$Y_1 = \frac{y_1}{1 - y_1} = \frac{0.132}{1 - 0.132} = 0.152 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmolB}}$$

$$X_1 = \frac{x_1}{1 - x_1} = \frac{0.0942}{1 - 0.0942} = 0.104 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmolC}}$$

$$Y_i = \frac{y_i}{1 - y_i} = \frac{0.0826}{1 - 0.0826} = 0.09 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmolB}}$$

materijalni bilans apsorbera od preseka 1 do preseka I:

$$G_{in} \cdot (Y_1 - Y_i) = L_{in} \cdot (X_1 - X_i) \quad \Rightarrow \quad X_i = X_1 - \frac{Y_1 - Y_i}{\frac{L_{in}}{G_{in}}}$$

$$X_i = 0.104 - \frac{0.152 - 0.09}{1.25} = 0.0544 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmolC}}$$

$$x_i = \frac{X_i}{1 + X_i} = \frac{0.0544}{1 + 0.0544} = 0.0516 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmol(A + C)}}$$

jednažina pogonske prave na uočenom preseku kolone:

$$y - y_i = -\frac{\beta_x}{\beta_y} \cdot (x - x_i) \quad y - 0.0826 = -1 \cdot (x - 0.0516)$$

$$y = -x + 0.1342 \quad (1)$$

jednažina ravnotežne linije:

$$y = 1.075 \cdot x \quad (2)$$

Rezultatom rešavanja sistema jednažina (1) i (2) dobija se sastav na granici faza:

$$x_g = 0.0647 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmol(A + C)}}, \quad y_g = 0.0695 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmol(A + B)}}$$

b)

$$X_2 = 0 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmolC}} \quad (\text{težni rastvor na ulazu ne sadrži propan})$$

materijalni bilans apsorbera od preseka 1 do preseka 2:

$$G_{in} \cdot (Y_1 - Y_2) = L_{in} \cdot (X_1 - X_2) \quad \Rightarrow \quad Y_2 = Y_1 - \frac{L_{in}}{G_{in}} \cdot (X_1 - X_2)$$

$$Y_2 = 0.152 - 1.25 \cdot (0.104 - 0) = 0.022 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmolB}}$$

$$\text{jedna~ina radne prave 1-2: } Y - Y_2 = \frac{L_{in}}{G_{in}} \cdot (X - X_2)$$

$$Y - 0.022 = 1.25 \cdot (X - 0) \quad \Rightarrow \quad Y = 1.25 \cdot X + 0.022$$

$$\text{jedna~ina ravnote`ne linije: } y^* = 1.075 \cdot x \quad \Rightarrow \quad \frac{Y^*}{1+Y} = 1.075 \cdot \frac{X}{1+X}$$

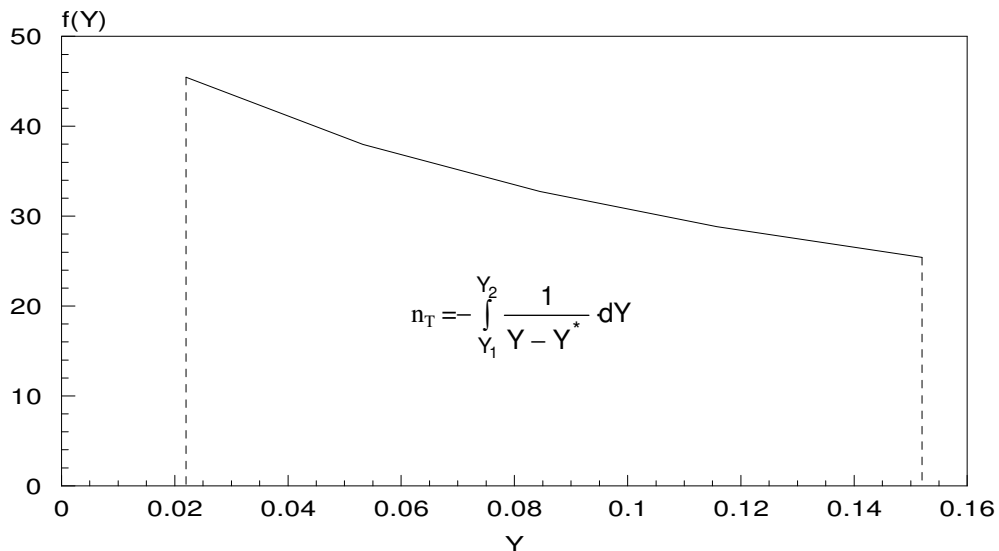
$$Y^* = \frac{1.075 \cdot X}{1 - 0.075 \cdot X}$$

$$n_T = - \int_{Y_1}^{Y_2} \frac{1}{Y - Y^*} dY = \dots$$

	0	1	2	3	4
Y	0.022	0.053	0.085	0.116	0.152
Y*	0.000	0.027	0.054	0.081	0.113
$f(Y) = \frac{1}{Y - Y^*}$	45.455	37.987	32.736	28.844	25.432

$$n_T = \left(\frac{Y_4 - Y_0}{4} \right) \cdot \left(\frac{f(Y_4) + f(Y_0)}{2} + f(Y_1) + f(Y_2) + f(Y_3) \right)$$

$$n_T = \left(\frac{0.152 - 0.022}{4} \right) \cdot \left(\frac{45.455 + 25.432}{2} + 37.987 + 32.736 + 28.844 \right) = 4.39$$



n_T je brojno jednako povr{ini ispod krive

zadaci za ve`banje: (3.11. – 3.12.)

3.11. U suprotnosmernoj apsorpcionoj koloni apsorbuje se $\text{CO}_2(\text{A})$ iz gasne me{avine koju ~ine CO_2 vazduh (B), po~etnog sastava $y_1=0.15 \text{ kmolA/kmol(A+B)}$. Kao sredstvo za apsorpciju upotrebljava se monoetanolamin (C) po~etnog sastava $X_2=0.0616 \text{ kmolA/kmolC}$. Zahtevana koncentracija komponente A u gasnoj me{avini na izlazu iz apsorbera je $y_2=0.02 \text{ kmolA/kmol(A+B)}$. Odrediti:

- minimalni protok te~nosti po jedinici protoka gasa, kmolC/kmolB
- broj jedinica prenosa mase ako je protok te~nosti za 20% ve}i od minimalnog, kao i sadr`aj komponente A u gasnoj me{avini koja napu{ta apsorber, u tom slu~aju

- ravnote`a u sistemu defini{e se tabelarno:

$x, \text{ kmolA/kmol(A+C)}$	0.058	0.06	0.062	0.064	0.066	0.068	0.07
$p_A, \text{ kPa}$	0.75	1.71	3.87	7.47	13.2	20.7	30.9

re{enje:

$$\text{a) } \frac{L_{in}}{G_{in}} = 14.8667 \frac{\text{kmolC}}{\text{kmolB}} \quad \text{b) } n_T = 3.84, X_1 = 0.0703 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmolC}}$$

3.12. U apsorpcionoj koloni vr{i se apsorpcija $\text{SO}_2(\text{A})$ iz vazduha (B). U suprotnom toku kroz kolonu se propu{ta voda (C) koja na ulazu u kolonu ne sadr`i SO_2 . Kolona radi pod slede}im uslovima:

- protok gasne sme{e na ulazu u kolonu je $3000 \text{ m}^3/\text{h}$
- molski udeo SO_2 u gasu na ulazu u kolonu je 3 mol%
- molski udeo SO_2 u gasu na izlazu iz kolone je 0.5 mol%
- protok vode kroz kolonu je 69.6 l/s
- pritisak i temperatura u koloni iznose $p=101.3 \text{ kPa}$ i $T=293 \text{ K}$
- koeficijenti konvektivnog prelaza mase du` kolone su konstanti i iznose $\beta_x=24.3$

$$\frac{\text{kmolA}}{\text{m}^2\text{h}(\Delta x)}, \beta_y = 1.3 \frac{\text{kmolA}}{\text{m}^2\text{h}(\Delta y)}$$

- ravnote`a u sistemu defini{e se tabelarno:

x	$5.63 \cdot 10^{-5}$	$1.40 \cdot 10^{-4}$	$2.80 \cdot 10^{-4}$	$4.21 \cdot 10^{-4}$	$6.40 \cdot 10^{-4}$	$9.00 \cdot 10^{-4}$
y	$6.60 \cdot 10^{-4}$	$1.50 \cdot 10^{-3}$	$4.21 \cdot 10^{-3}$	$7.63 \cdot 10^{-3}$	$1.50 \cdot 10^{-2}$	$2.50 \cdot 10^{-2}$

x i y su molski udeli komponente A u te~noj (x) i gasnoj fazi (y)

Odrediti koncentraciju SO_2 na grani~noj povr{ini te~nost-gas na dnu kolone.

$$\text{re{enje: } } x=0.00077 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmol(A+C)}}, y=0.02 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmol(A+B)}}$$

3.13. U desorberu se odvija proces razdvajanja tečnog rastvora benzola (A) od ulja (B) pomoću iste pregrejane pare (C), pri čemu se na 100 kmol ulja troši 4 kmol pare. Sastav tečne faze na ulazu u aparat je $x_1=0.0225$ kmolA/kmol(A+B) a na izlazu iz aparata $x_2=0.003$ kmolA/kmol(A+B). Smatrajući da je ulje praktično neisparljivo odrediti:

- a) sadržaj benzola u pari na izlazu iz desorbera, kmolA/kmol(A+C)
 b) teorijski broj jedinica prenosa mase (broj podova), ako je ravnoteža u sistemu definisana tabelom

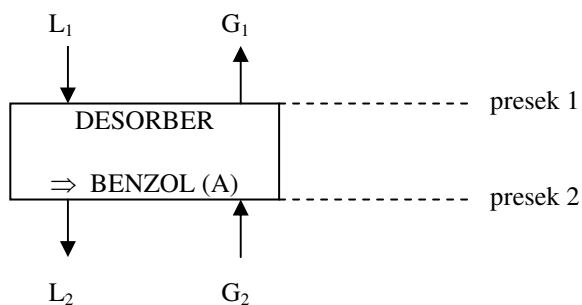
X	0.003	0.007	0.011	0.015	0.019	0.023	0.027
Y	0.099	0.231	0.363	0.495	0.627	0.759	0.891

gde su X i Y molski odnosi mobilne prema inertnoj komponenti u tečnoj fazi

X, kmolA/kmolB i gasnoj fazi Y, kmolA/kmolC

- c) stepen desorpcije benzola (mol%)

a)



$$X_2 = \frac{x_2}{1-x_2} = \frac{0.003}{1-0.003} = 0.003 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmolB}}, \quad Y_2 = 0 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmolC}} \quad (\text{para ulazi čista})$$

$$X_1 = \frac{x_1}{1-x_1} = \frac{0.0225}{1-0.0225} = 0.023 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmolB}}, \quad \frac{L_{in}}{G_{in}} = \frac{100}{4} = 25 \frac{\text{kmolB}}{\text{kmolC}}$$

Materijalni bilans mobilne komponente (A):

$$G_{in} \cdot (Y_1 - Y_2) = L_{in} \cdot (X_1 - X_2) \quad \Rightarrow \quad Y_1 = Y_2 + \frac{L_{in}}{G_{in}} \cdot (X_1 - X_2)$$

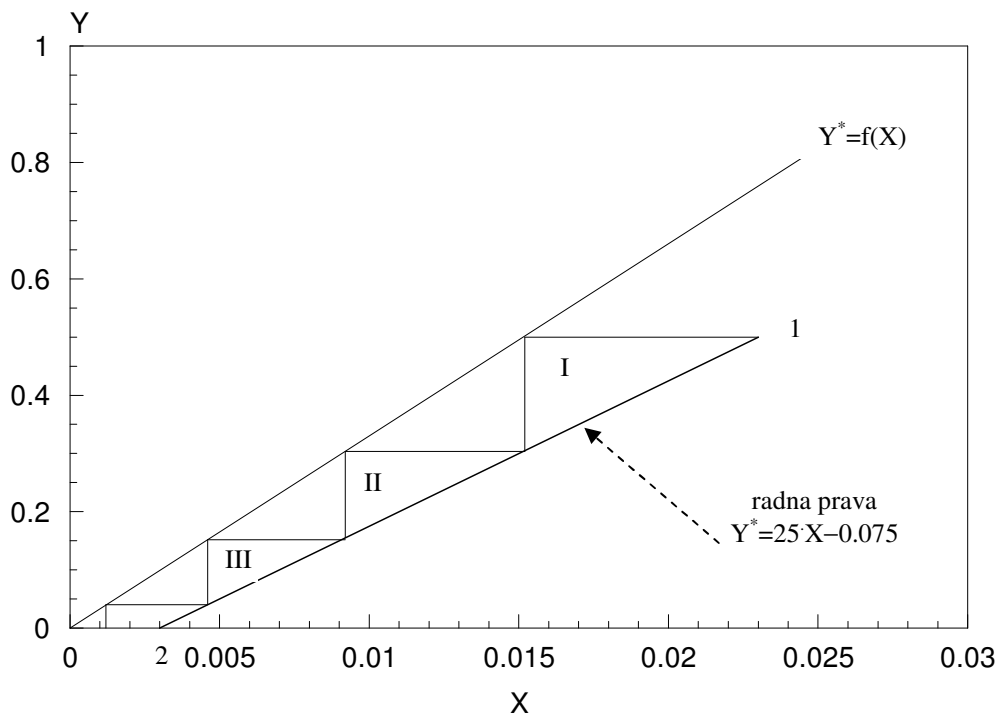
$$Y_1 = 0 + 25 \cdot (0.023 - 0.003) = 0.5 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmolC}}$$

$$y_1 = \frac{Y_1}{1 + Y_1} = \frac{0.5}{1 + 0.5} = 0.33 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmol(A+C)}}$$

b)

$$\text{jedna~ina radne prave 1-2: } Y - Y_2 = \frac{L_{in}}{G_{in}} \cdot (X - X_2)$$

$$Y - 0 = 25 \cdot (X - 0.003) \Rightarrow Y = 25 \cdot X - 0.075$$



$n_t = 3.53$ (vidi sliku)

c)

$$s_d = \frac{X_1 - X_2}{X_1} = \frac{0.023 - 0.003}{0.023} = 0.87 \quad (87 \text{ mol}\%)$$

3.14. U suprotnosmernoj koloni sa punjenjem desorbuje se komponenta A iz te~nog rastvora (A+B) ~istim gasom ©(C). Molski udeo komponente A u ulaznoj te~nosti je $x_1=0.091$ kmolA/kmol(A+B), a u koloni se desorbuje 90 mol% komponente A iz ulaznog te~nog rastvora. Ako je protok ~istog gasa dva puta ve}i od minimalnog odrediti:

- molski udeo komponente A u gasnoj fazi koji napu{ta kolonu
- molski udeo komponente A u gasnoj fazi u onom preseku kolone u kojem molski udeo komponente A u te~noj fazi iznosi $x_1=0.057$ kmolA/kmol(A+B)

Ravnote`ni uslovi defini{u se jedna~inom $y^* = 5 \cdot x$, gde su x i y molski udeli komponente A u te~noj fazi (x) i gasnoj fazi (y)

a)

$$X_1 = \frac{x_1}{1 - x_1} = \frac{0.091}{1 - 0.091} = 0.1 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmolB}}$$

$$s_d = \frac{X_1 - X_2}{X_1} \Rightarrow X_2 = X_1 \cdot (1 - s_d) = 0.1 \cdot (1 - 0.9) = 0.01 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmolB}}$$

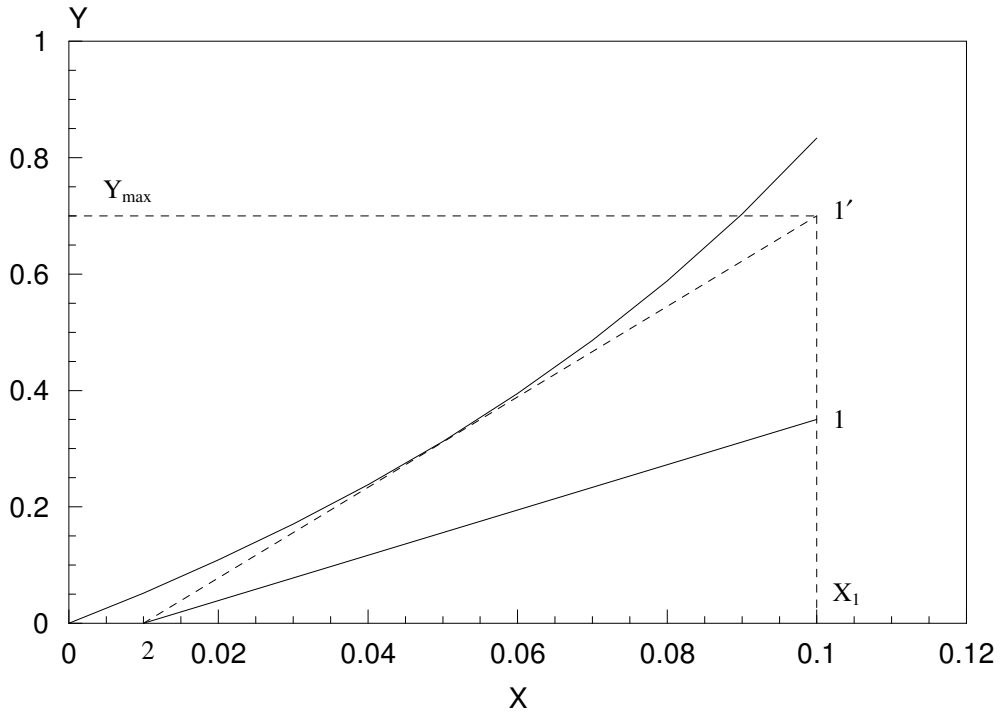
$$Y_2 = 0 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmolC}} \quad (\text{gas ulazi ~ist}) \quad G_{in} = 2 \cdot G_{in_{min}}$$

procedura:

- na osnovu zadate ravnote`ne jedna~ine u molskim udelima: $y^* = 5 \cdot x$ izvede se jedna~ina ravnote`ne linije u molskim odnosima: $Y^* = \frac{5 \cdot X}{1 - 4 \cdot X}$
- jedna~ina ravnote`ne linije $Y^* = \frac{5 \cdot X}{1 - 4 \cdot X}$ se predstavi tabelarno

$X, \frac{\text{kmolA}}{\text{kmolB}}$	0	0.02	0.04	0.06	0.08	0.1
$Y^*, \frac{\text{kmolA}}{\text{kmolC}}$	0	0.109	0.238	0.395	0.588	0.833

- na milimetarskom papiru u Y, X koordinatnom sistemu se nacrtaju jedna~ina ravnote`ne linije na osnovu tabelarnih vrednosti
- iz ta~ke 2(X_2, Y_2) se konstitui{e radna prava (isprekidana linija!) pri minimalnom protoku gasne faze (tangenta na ravnote`nu liniju!)
- presekokavako nacrtane radne prave sa linijom $X_1=0.1 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmolB}}$ defini{e sastav gasne faze na izlazu iz desorbera (Y_{max}) za slu~aj minimalnog protoka gasne faze



$$Y_{\max} = 0.7 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmolC}} \quad (\text{pročitano iz dijagrama})$$

materijalni bilans mobilne komponente: $G_{\text{in}} \cdot (Y_1 - Y_2) = G_{\text{in, min}} \cdot (Y_{1\max} - Y_2)$

$$G_{\text{in}} = 2 \cdot G_{\text{in, min}} \quad (\text{uslov zadatka}) \Rightarrow Y_1 = \frac{Y_{\max}}{2} = \frac{0.7}{2} = 0.35 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmolC}}$$

napomena: Prava linija predstavljena punom linijom je radna prava pri protoku gasne faze dva puta ve}em od minimalnog.

b)

$$X_i = \frac{x_i}{1 - x_i} = \frac{0.057}{1 - 0.057} = 0.06 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmolB}} \Rightarrow Y_i = 0.195 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmolC}} \quad (\text{dijagram})$$

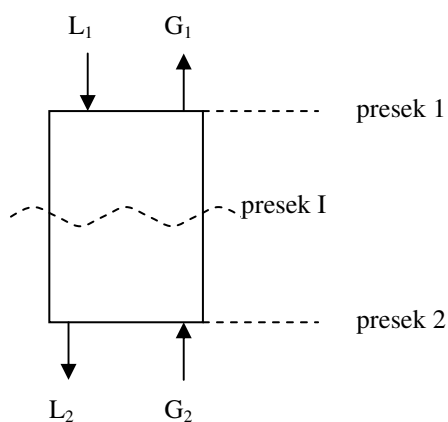
$$y_i = \frac{Y_i}{1 + Y_i} = \frac{0.195}{1 + 0.195} = 0.16 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmol(A + C)}}$$

3.15. U suprotnosmernoj koloni sa punjenjem desorbuje se komponenta A iz te~ne me{avine (A+B) ~istim gasom ©(C). Izlazna koncentracija komponente A u te~nosti je 0.5 mol%.

Odnos moljskih protka inertnih komponenata iznosi $\frac{L_{in}}{G_{in}} = 4 \frac{\text{kmolB}}{\text{kmolC}}$, a

ravnote~ni uslovi defini{u se jedna~inom $y^* = 5 \cdot x$, gde su x i y moljski udeli komponente A u te~noj fazi (x) i gasnoj fazi (y). Odrediti:

- a) sastav na granici faza u onom preseku kolone u kojem je sastav gasne faze $y_i = 2 \text{ mol\%}$, koeficijent prolaza mase $K_y = 2.65 \cdot 10^{-3} \frac{\text{kmolA}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}(\Delta y)}$, a 70% od ukupnog otpora prenosu mase je u gasnoj fazi
- b) teorijski broj jedinica prenosu mase (metodom grafi~ke integracije) za slu~aj da ista kolona radi sa protokom gasa tri puta ve{im od minimalnog i da stepen desorpcije izosi $s_d = 0.95$



a)

$$X_2 = \frac{x_2}{1-x_2} = \frac{0.005}{1-0.005} \approx 0.005 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmolB}}, \quad Y_2 = 0 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmolC}} \quad (\text{gas ulazi ~ist})$$

$$Y_i = \frac{y_i}{1-y_i} = \frac{0.02}{1-0.02} \approx 0.02 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmolC}}$$

materijalni bilans apsorbera pd preseka 2 do preseka I:

$$G_{in} \cdot (Y_i - Y_2) = L_{in} \cdot (X_i - X_2) \quad \Rightarrow \quad X_i = X_2 + \frac{Y_i - Y_2}{\frac{L_{in}}{G_{in}}}$$

$$X_i = 0.005 + \frac{0.02 - 0}{4} = 0.01 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmolC}} \quad \Rightarrow$$

$$x_i = \frac{X_i}{1+X_i} = \frac{0.01}{1+0.01} \approx 0.01 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmol(A+C)}}$$

$$y^* = 5 \cdot x_i = 5 \cdot 0.01 = 0.05 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmol(A+B)}}$$

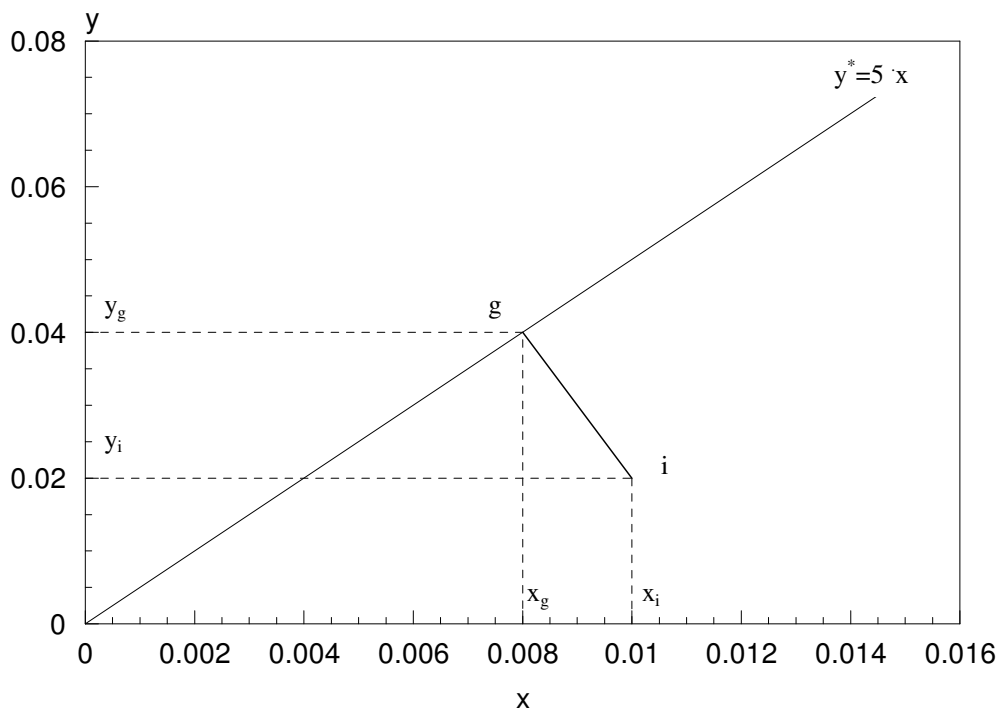
$$n_A = K_y \cdot (y^* - y_i) = 2.65 \cdot 10^{-3} \cdot (0.05 - 0.02) = 7.95 \cdot 10^{-5} \frac{\text{kmolA}}{\text{m}^2 \text{s}}$$

$$\frac{1}{\beta_y} = 0.7 \Rightarrow \beta_y = \frac{K_y}{0.7} = \frac{2.65 \cdot 10^{-3}}{0.7} = 3.79 \cdot 10^{-3} \frac{\text{kmolA}}{\text{m}^2\text{s}(\Delta y)}$$

$$n_A = \beta_y \cdot (y_g - y_i) \Rightarrow y_g = y_i + \frac{n_A}{\beta_y} = 0.02 + \frac{7.95 \cdot 10^{-5}}{3.79 \cdot 10^{-3}} = 0.04 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmol(A + B)}}$$

$$x_g = \frac{y_g}{5} = \frac{0.04}{5} = 0.008 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmol(A + C)}}$$

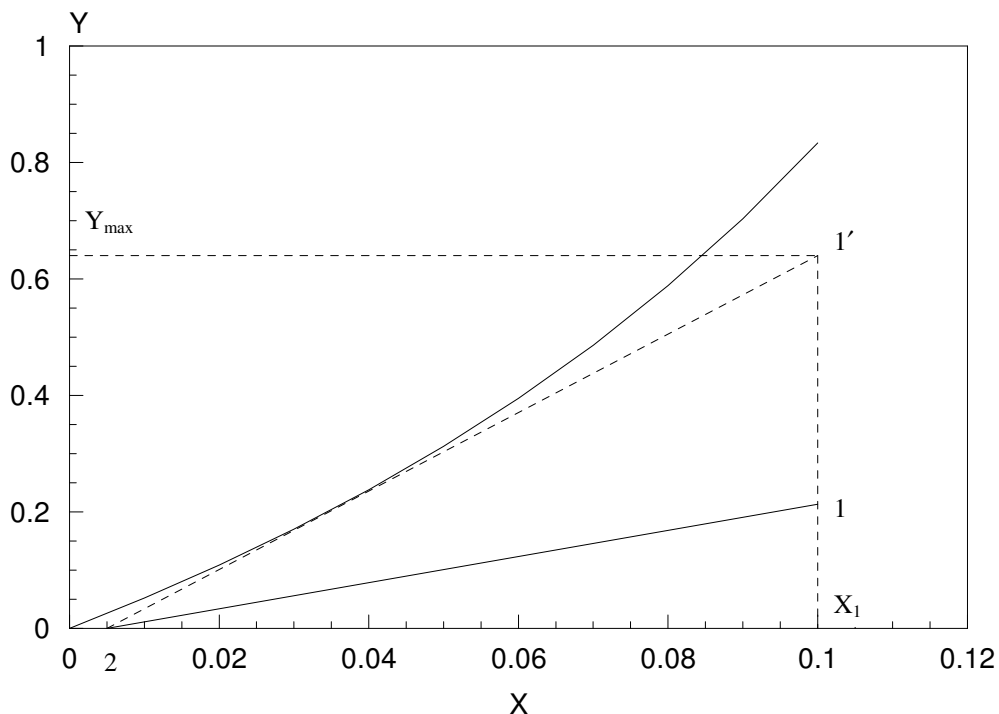
grafi-ka interpretacija re{enja pod a)



b)

$$s_d = \frac{X_1 - X_2}{X_1} \Rightarrow X_1 = \frac{X_2}{1 - s_d} = \frac{0.005}{1 - 0.95} = 0.1$$

Koriste}i istu proceduru kao u zadatku 3.14. (vidi sliku) dobija se :



$$Y_{\max} = 0.64 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmolC}} \quad (\text{pro} \sim \text{itano iz dijagrama})$$

$$\text{materijalni bilans mobilne komponente: } G_{\text{in}} \cdot (Y_1 - Y_2) = G_{\text{in}_{\min}} \cdot (Y_{1\max} - Y_2)$$

$$G_{\text{in}} = 3 \cdot G_{\text{in}_{\min}} \quad (\text{uslov zadatka}) \Rightarrow Y_1 = \frac{Y_{\max}}{2} = \frac{0.64}{3} = 0.213 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmolC}}$$

napomena: Prava linija predstavljena punom linijom je radna prava pri protoku gasne faze tri puta ve}em od minimalnog.

Do broja teorijskih jedinica prenosa mase grafičkom integracijom dolazimo sličnom procedurom kao u zadatku 3.10.

$$n_t = \int_{X_1}^{X_2} \frac{1}{X - X^*} dX$$

	0	1	2	3	4
Y	0	0.05	0.1	0.15	0.213
X	0.005	0.027	0.05	0.072	0.1
X*	0	0.01	0.019	0.027	0.036
$f(x) = \frac{1}{X - X^*}$	203.6	56.76	32.22	22.18	15.72

$$n_T = \left(\frac{X_4 - X_0}{4} \right) \cdot \left(\frac{f(X_4) + f(X_0)}{2} + f(X_1) + f(X_2) + f(X_3) \right)$$

$$n_T = \left(\frac{0.1 - 0.005}{4} \right) \cdot \left(\frac{15.72 + 203.6}{2} + 56.76 + 32.22 + 22.18 \right) = 5.2$$

napomena: Do broja teorijskih jedinica prenosa mase se može doći i ucrtavanjem stepenica kao u zadatku 3.13.

zadatak za vežbanje: (3.16.)

3.16. 50 kmol/h gasne mešavine koju čine benzol (A) i vazduh (B) prečišćava se pomoću ulja (C) u suprotnosmernoj apsorpcionoj koloni. Koncentracija benzola na ulazu u kolonu iznosi $Y = 0.02$

$\frac{\text{kmolA}}{\text{kmolB}}$, a stepen apsorpcije iznosi $s_A = 95 \text{ mol\%}$. Sadržaj benzola ulju na ulazu u apsorber je $X = 0.005$

$\frac{\text{kmolA}}{\text{kmolC}}$, a protok ulja kroz apsorber je za 50% veći od minimalnog. Regeneracija ulja se obavlja u

desorberu pomoću iste pregrjane pare protoka 4 kmol/h. Ravnotežni uslovi u apsorberu definišu se

jednačinom: $Y^* = 0.13 \cdot X$, a u desorberu jednačinom $Y^* = 2.96 \cdot X$. Odrediti broj teorijskih stepena kontakta (jedinica prenosa mase):

- u apsorberu
- u desorberu

rešenje:

- $n_t = 9$
- $n_t = 5$

4.1. Mešavina lakše isparljive komponente (A) i teže isparljive komponente (B)

$G_f = 100 \text{ kmol(A+B)}$ tretira se u procesu diferencijalne destilacije. Molski udeo komponente A u

tečnosti se tom prilikom smanjuje sa $x_f = 0.6 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmol(A+B)}}$ na $x_w = 0.1 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmol(A+B)}}$. Odrediti količinu

ostatka i destilata na kraju procesa (G_w i G_d) kao i molski udeo komponente (A) u destilatu (x_d) ako se u radnom opsegu koncentracija:

a) ravnoteža u sistemu definiše jednačinom: $y^* = 2x$

b) ravnoteža u sistemu definiše relativnom isparljivošću $\alpha = 2$

a)

$$y^* = 2x \quad \Rightarrow \quad a=2, b=0 \Rightarrow \quad \mathbf{I} = \ln x \Big|_{x_w}^{x_f} = \ln \frac{x_f}{x_w}$$

$$3. \quad \ln \frac{G_f}{G_w} = \ln \frac{x_f}{x_w} \quad \Rightarrow \quad G_w = G_f \cdot \frac{x_w}{x_f} = 100 \cdot \frac{0.1}{0.6} = 16.67 \text{ kmol}$$

$$1. \quad G_p = G_f - G_w = 100 - 16.67 = 83.33 \text{ kmol} = G_d$$

$$2. \quad y_p = \frac{G_f \cdot x_f - G_w \cdot x_w}{G_p} = \frac{100 \cdot 0.6 - 16.67 \cdot 0.1}{83.33} = 0.70 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmol(A+B)}}$$

b)

$$\alpha = 2 \quad \Rightarrow \quad y^* = \frac{2 \cdot x}{1+x} \quad \Rightarrow \quad \mathbf{I} = \ln \frac{x}{(1-x)^2} \Big|_{x_w}^{x_f} = \ln \frac{x_f \cdot (1-x_w)^2}{x_w \cdot (1-x_f)^2}$$

$$3. \quad \ln \frac{G_f}{G_w} = \ln \frac{x_f \cdot (1-x_w)^2}{x_w \cdot (1-x_f)^2}$$

$$G_w = G_f \cdot \frac{x_w \cdot (1-x_f)^2}{x_f \cdot (1-x_w)^2} = 100 \cdot \frac{0.1 \cdot (1-0.6)^2}{0.6 \cdot (1-0.1)^2} = 3.29 \text{ kmol}$$

$$1. \quad G_p = G_f - G_w = 100 - 3.29 = 96.71 \text{ kmol} = G_d$$

$$2. \quad y_p = \frac{G_f \cdot x_f - G_w \cdot x_w}{G_p} = \frac{100 \cdot 0.6 - 3.29 \cdot 0.1}{96.71} = 0.62 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmol(A+B)}}$$

4.2. Dvokomponentna me{avina (A+B) sastava $x_f=0.3 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmol(A+B)}}$ (A je lak{e isparljiva

komponenta) destili{e se u procesu diferencijalne destilacije, pri ~emu ispari 60% sirovine. Ako se u radnom opsegu koncentracija ravnote`a u sistemu defini{e jedna~inom: $y^*=3x$ odrediti:

- molski sastav ostatka i destilata
- maseni sastav ostatka i destilata

Molska masa komponente A iznosi 50 kg/kmol

Molska masa komponente B isnosi 20 kg/kmol

a)

Uslov zadatka: $\frac{G_p}{G_f} = 0.6, \frac{G_w}{G_f} = 0.4$

$$y^*=3x \quad \Rightarrow \quad a=3, b=0 \Rightarrow \quad \mathbf{I} = \frac{1}{2} \ln(2 \cdot x) \Big|_{x_w}^{x_f} = \ln \sqrt{\frac{x_f}{x_w}}$$

$$1. \quad \ln \frac{G_f}{G_w} = \ln \sqrt{\frac{x_f}{x_w}} \Rightarrow x_w = x_f \cdot \left(\frac{G_w}{G_f} \right)^2 = 0.3 \cdot 0.4^2 = 0.048 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmol(A+B)}}$$

$$2. \quad y_p = \frac{G_f \cdot x_f - G_w \cdot x_w}{G_p} = \frac{1}{0.6} \cdot 0.3 - \frac{0.4}{0.6} \cdot 0.048 = 0.468 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmol(A+B)}}$$

b)

$$\bar{x}_w = \frac{x_w \cdot M_A}{x_w \cdot M_A + (1-x_w) \cdot M_B} = \frac{0.048 \cdot 50}{0.048 \cdot 50 + (1-0.048) \cdot 20} = 0.112 \frac{\text{kgA}}{\text{kg(A+B)}}$$

$$\bar{y}_p = \frac{y_p \cdot M_A}{y_p \cdot M_A + (1-y_p) \cdot M_B} = \frac{0.468 \cdot 50}{0.468 \cdot 50 + (1-0.468) \cdot 20} = 0.687 \frac{\text{kgA}}{\text{kg(A+B)}}$$

4.3. Mešavina lakše isparljive komponente (A) i teže isparljive komponente (B)

$G_f = 100 \text{ kmol(A+B)}$, sastava $x_f = 0.5 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmol(A+B)}}$, tretira se u procesu diferencijalne destilacije, pri

čemu u destilat iz sirovine prelazi 80 mol% lakše isparljive komponente A. Ravnotežni uslovi za opseg radnih koncentracija definišu se jednačinom $y^* = 2 \cdot x$. Odrediti srednji sastav destilata (x_d) kao i sastav ostatka (x_w).

uslov zadatka: $G_p \cdot y_p = 0.8 \cdot G_f \cdot x_f$

2. $G_w \cdot x_w = G_f \cdot x_f - G_p \cdot y_p = G_f \cdot x_f - 0.8 \cdot G_f \cdot x_f = 0.2 \cdot G_f \cdot x_f$

$G_w \cdot x_w = 0.2 \cdot 100 \cdot 0.5 = 10 \text{ kmol (A+B)}$

3. $y^* = 2 \cdot x \quad \Rightarrow \quad a=2, b=0 \Rightarrow \quad \mathbf{I} = \ln x \Big|_{x_w}^{x_f} = \ln \frac{x_f}{x_w}$

$\ln \frac{G_f}{G_w} = \ln \frac{x_f}{x_w} \quad \Rightarrow \quad \frac{G_f}{G_w} = \frac{x_f}{x_w} \quad \Rightarrow \quad \frac{G_f}{G_w} = \frac{x_f}{10} \cdot G_w$

$G_w = \sqrt{\frac{10 \cdot G_f}{x_f}} = \sqrt{\frac{10 \cdot 100}{0.5}} = 44.72 \text{ kmol (A+B)} \quad x_w = \frac{10}{44.72} = 0.22$

1. $G_p = G_f - G_w = 100 - 44.72 = 55.28 \text{ kmol} = G_d$

2. $x_d = y_p = \frac{G_f \cdot x_f - G_w \cdot x_w}{G_p} = \frac{100 \cdot 0.5 - 44.72 \cdot 0.22}{55.28} = 0.73 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmol(A+B)}}$

4.4. U procesu periodične diferencijalne destilacije binarne mesavine (A+B; A je lakše isparljiva komponenta) sastava $x_f=0.36$ kmolA/kmol(A+B), nastaje 600 kmol/h destilata i osiromašeni ostatak sastava $x_w=0.1$ kmolA/kmol(A+B). Ravnoteža u sistemu definiše se relativnom isparljivošću $\alpha=2$. Odrediti:

- a) srednji sastav destilata, kmolA/kmol(A+B)
- b) srednje sastave destilata u sudovima 1 i 2 kada bi se prvih 100 kmol/h destilata odvodilo u sud 1 a ostalih 500 kmol/h u sud 2, kmolA/kmol(A+B)

a)

$$\alpha = 2 \Rightarrow y^* = \frac{2 \cdot x}{1 + x} \Rightarrow \mathbf{I} = \ln \frac{x}{(1-x)^2} \Big|_{x_w}^{x_f} = \ln \frac{x_f \cdot (1-x_w)^2}{x_w \cdot (1-x_f)^2}$$

$$\mathbf{I} = \ln \left[\frac{0.36}{0.1} \cdot \frac{(1-0.1)^2}{(1-0.36)^2} \right] = 1.963$$

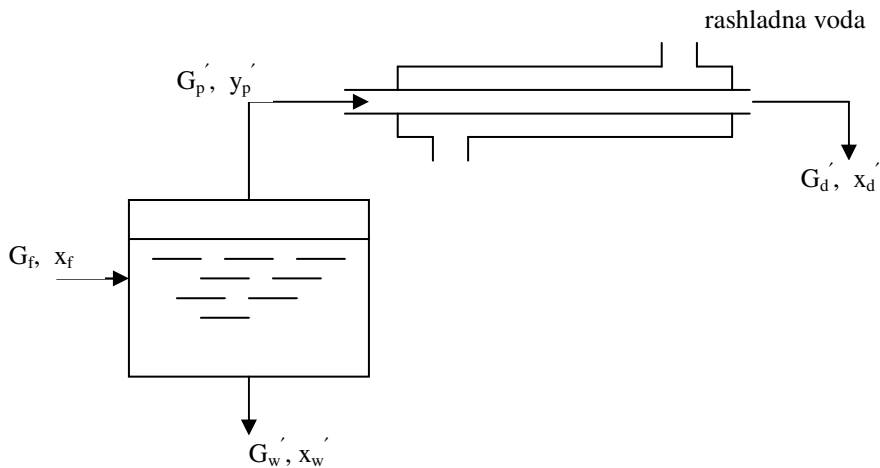
$$3. \quad \mathbf{I} = \ln \frac{G_f}{G_w} \Rightarrow G_f = G_w \cdot \exp(1.963) = 7.12 \cdot G_w$$

$$1. \quad G_f = G_w + G_p$$

kombinovanjem jednačina (1) i (3) dobija se : $G_f = 698$ kmol/h, $G_w=98$ kmol/h

$$2. \quad y_p = \frac{G_f \cdot x_f - G_w \cdot x_w}{G_p} = \frac{698 \cdot 0.36 - 98 \cdot 0.1}{698} = 0.40 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmol(A+B)}}$$

b)



$$G_f = 698 \text{ kmol/h, } G_p' = 100 \text{ kmol/h, } x_f = 0.36 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmol(A+B)}}$$

$$1. \quad G_w' = G_f - G_p' = 698 - 100 = 598 \text{ kmol/h}$$

$$3. \quad \mathbf{I} = \ln \frac{G_f'}{G_w'} = \ln \frac{x_f' \cdot (1 - x_w')^2}{x_w' \cdot (1 - x_f')^2} \Rightarrow \frac{G_f'}{G_w'} = \frac{x_f' \cdot (1 - x_w')^2}{x_w' \cdot (1 - x_f')^2}$$

$$\frac{698}{598} = \frac{0.36 \cdot (1 - x_w')^2}{x_w' \cdot (1 - 0.36)^2} \Rightarrow 0.36 \cdot (x_w')^2 - 1.2 \cdot x_w + 0.36 = 0$$

$$x_w' = 0.33 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmol(A+B)}}$$

$$2. \quad y_p = \frac{G_f' \cdot x_f - G_w' \cdot x_w'}{G_p'} = \frac{698 \cdot 0.36 - 598 \cdot 0.33}{100} = 0.54 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmol(A+B)}}$$

$$G_f'' = G_w' = 598 \text{ kmol/h}, G_p'' = 500 \text{ kmol/h}, x_f'' = x_w' = 0.33 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmol(A+B)}}$$

$$1. \quad G_w'' = G_f'' - G_p'' = 598 - 500 = 98 \text{ kmol/h}$$

$$3. \quad \mathbf{I} = \ln \frac{G_f''}{G_w''} = \ln \frac{x_f'' \cdot (1 - x_w'')^2}{x_w'' \cdot (1 - x_f'')^2} \Rightarrow \frac{G_f''}{G_w''} = \frac{x_f'' \cdot (1 - x_w'')^2}{x_w'' \cdot (1 - x_f'')^2}$$

$$\frac{598}{98} = \frac{0.33 \cdot (1 - x_w'')^2}{x_w'' \cdot (1 - 0.33)^2} \Rightarrow (x_w'')^2 - 10.32 \cdot x_w'' + 1 = 0$$

$$x_w'' = 0.1 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmol(A+B)}}$$

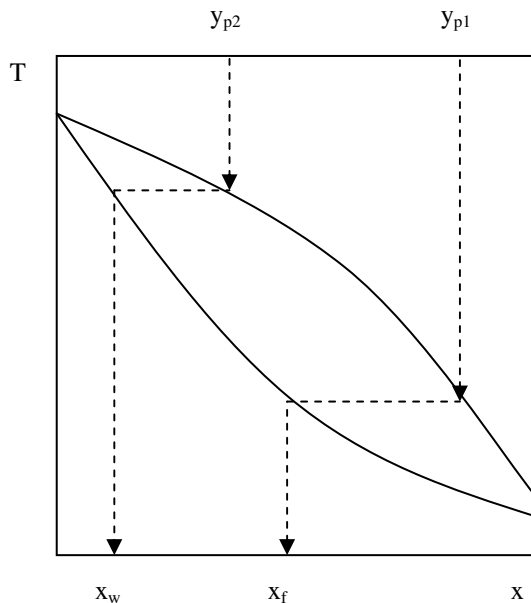
$$2. \quad y_p'' = \frac{G_f'' \cdot x_f'' - G_w'' \cdot x_w''}{G_p''} = \frac{598 \cdot 0.33 - 98 \cdot 0.1}{500} = 0.375 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmol(A+B)}}$$

4.5. Binarna me{avina lak{e isparljive komponente (A) i te`e isparljive komponente (B) $G_f=100 \text{ kmol(A+B)}$ tretira se u procesu diferencijalne destilacije. Po~etni sastav pare, koja napu{ta destilacioni ureljaj, iznosi $y_{p1}=0.86 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmol(A+B)}}$ a krajnji sastav pare, koja napu{ta destilacioni ureljaj, iznosi $y_{p2}=0.19 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmol(A+B)}}$. Odrediti srednji sastav destilata ($x_d=y_p$), $\frac{\text{kmolA}}{\text{kmol(A+B)}}$, ako se ravnote`a u sistemu defini{e tabelom:

x	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6
y*	0.19	0.36	0.51	0.64	0.74	0.84

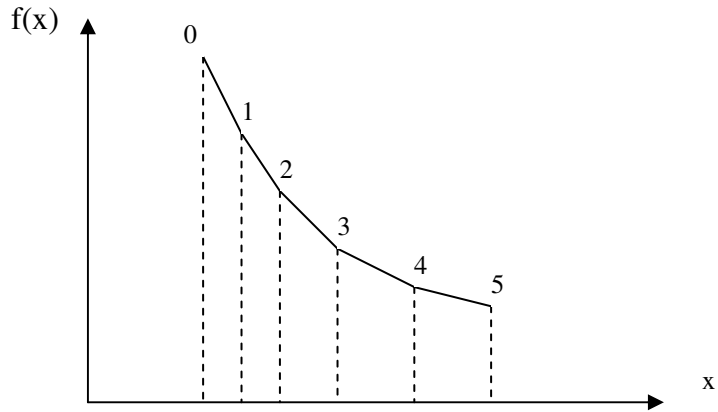
$$x, y^* : \frac{\text{kmolA}}{\text{kmol(A+B)}}$$

Na osnovu zadatih ravnote`nih vrednosti": $x_w = 0.1 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmol(A+B)}}$, $x_f = 0.6 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmol(A+B)}}$



Obzirom da su ravnote`ni podaci zadati tabelarno vrednost integrala \int se mora odrediti postupkom grafi~ke integracije, tj. primenom trapezne formule.

	0	1	2	3	4	5
x	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6
y*	0.19	0.36	0.51	0.64	0.75	0.86
$f(x) = \frac{1}{y^* - x}$	11.11	6.25	4.76	4.17	4	3.85



$$I = \left(\frac{x_f - x_w}{5} \right) \cdot \left(\frac{f(x_5) + f(x_0)}{2} + f(x_1) + f(x_2) + f(x_3) + f(x_4) \right) \Rightarrow$$

$$I = \left(\frac{0.6 - 0.1}{5} \right) \cdot \left(\frac{3.85 + 11.11}{2} + 6.25 + 4.76 + 4.17 + 4 \right) = 2.67$$

$$\ln \frac{G_f}{G_w} = 2.67 \Rightarrow G_w = \frac{G_f}{\exp(2.67)} = 6.95 \text{ kmol}$$

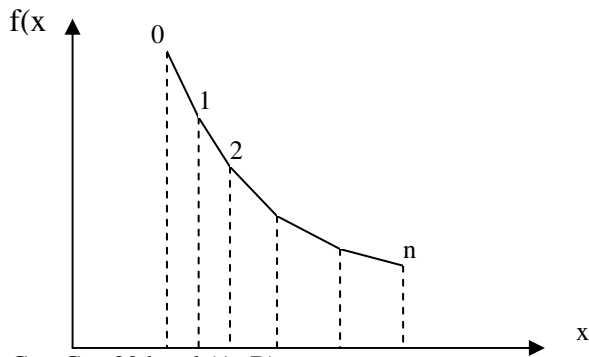
$$1. \quad G_p = G_f - G_w = 100 - 6.95 = 93.05 \text{ kmol} = G_d$$

$$2. \quad y_p = \frac{G_f \cdot x_f - G_w x_w}{G_p} = \frac{100 \cdot 0.6 - 6.95 \cdot 0.1}{93.05} = 0.64 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmol(A+B)}}$$

4.6. Mešovina lakše isparljive komponente (A) i teže isparljive komponente (B)

$G_f = 200 \text{ kmol(A+B)}$, sastava $x_f = 0.6 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmol(A+B)}}$, tretira se u procesu diferencijalne destilacije, pri čemu dobijamo $G_d = 180 \text{ kmol (A+B)}$ destilata. Odrediti molski udeo komponente A u ostatku (x_w) i destilatu (x_d). Ravnotežni uslovi definišu se tabelarno:

x	0.05	0.1	0.15	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6
y^*	0.10	0.20	0.27	0.34	0.46	0.57	0.67	0.84



- $G_w = G_f - G_p = 20 \text{ kmol (A+B)}$
- $I = \ln \frac{G_f}{G_w} = \ln \frac{200}{20} = 2.30$

metoda probe i greške:

pretpostavimo $x_w = 0.3$

	0	1	2	3
x	0.3	0.4	0.5	0.6
y^*	0.46	0.57	0.68	0.84
$f(x) = \frac{1}{y^* - x}$	6.25	5.88	5.55	4.17

$$I = \left(\frac{x_f - x_w}{3} \right) \cdot \left(\frac{f(x_3) + f(x_0)}{2} + f(x_1) + f(x_2) \right) \Rightarrow$$

$$I = \left(\frac{0.6 - 0.3}{3} \right) \cdot \left(\frac{4.17 + 6.25}{2} + 5.88 + 5.85 \right) = 1.69 \text{ pretpostavka nije tačna!}$$

pretpostavimo $x_w=0.2$

	0	1	2	3	4
x	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6
y*	0.34	0.46	0.57	0.68	0.84
$f(x)=\frac{1}{y^*-x}$	7.14	6.25	5.88	5.55	4.17

$$I = \left(\frac{x_f - x_w}{4} \right) \cdot \left(\frac{f(x_4) + f(x_0)}{2} + f(x_1) + f(x_2) + f(x_3) \right) \Rightarrow$$

$$I = \left(\frac{0.6 - 0.2}{4} \right) \cdot \left(\frac{4.17 + 7.14}{2} + 6.25 + 5.88 + 5.85 + 4.17 \right) = 2.78$$

pretpostavka nije ta-na!

pretpostavimo $x_w=0.22$

	0	1	2	3	4
x	0.22	0.3	0.4	0.5	0.6
y*	0.35	0.46	0.57	0.68	0.84
$f(x)=\frac{1}{y^*-x}$	7.69	6.25	5.88	5.55	4.17

$$I = \left(\frac{x_f - x_w}{4} \right) \cdot \left(\frac{f(x_4) + f(x_0)}{2} + f(x_1) + f(x_2) + f(x_3) \right) \Rightarrow$$

$$I = \left(\frac{0.6 - 0.22}{4} \right) \cdot \left(\frac{4.17 + 7.69}{2} + 6.25 + 5.88 + 5.85 \right) = 2.27$$

pretpostavka je dovoljno ta-na!

$$2. \quad y_p = \frac{G_f \cdot x_f - G_w x_w}{G_p} = \frac{200 \cdot 0.6 - 20 \cdot 0.22}{180} = 0.64 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmol(A+B)}}$$

4.7. U procesu diferencijalne destilacije dvokomponentne mešavine (A+B) molски udeo lakše isparljive komponente (A) u napojnoj smešici smanji se sa $x_f=15$ mol% na $x_w=3$ mol%. Relativna isparljivost mešavine iznosi $\alpha=3$. Odrediti srednji sastav destilata (x_d).

- postupkom analitičke integracije
- postupkom grafičke integracije (trapezna formula), koristeći 5 ekvidistantnih tačaka u proračunu

a)

$$\alpha = 3 \Rightarrow y^* = \frac{3 \cdot x}{1 + 2 \cdot x} \Rightarrow \mathbf{I} = \frac{1}{2} \cdot \ln \frac{x}{(1-x)^3} \Bigg|_{x_w}^{x_f} = \ln \frac{x_f \cdot (1-x_w)^3}{x_w \cdot (1-x_f)^3}$$

$$\mathbf{I} = \frac{1}{2} \cdot \ln \left[\frac{0.15 \cdot (1-0.03)^3}{0.03 \cdot (1-0.15)^3} \right] = 1$$

$$3. \quad \mathbf{I} = \ln \frac{G_f}{G_w} \Rightarrow \frac{G_f}{G_w} = \exp(1) = 2.72$$

$$1. \quad G_f = G_w + G_p \Rightarrow \frac{G_f}{G_w} = 1 + \frac{G_p}{G_w} \Rightarrow$$

$$\frac{G_p}{G_w} = \frac{G_f}{G_w} - 1 = 2.72 - 1 = 1.72$$

$$2. \quad y_p = \frac{G_f \cdot x_f - G_w x_w}{G_p} = \frac{\frac{G_f}{G_w} \cdot x_f - x_w}{\frac{G_p}{G_w}} = \frac{2.72 \cdot 0.15 - 0.03}{1.72} = 0.22$$

b)

	0	1	2	3	4
x	0.03	0.06	0.09	0.12	0.15
$y^* = \frac{3 \cdot x}{1 + 2 \cdot x}$	0.085	0.16	0.23	0.29	0.346
$f(x) = \frac{1}{y^* - x}$	18.18	10.00	7.14	5.88	5.10

$$I = \left(\frac{x_f - x_w}{4} \right) \cdot \left(\frac{f(x_4) + f(x_0)}{2} + f(x_1) + f(x_2) + f(x_3) \right) \Rightarrow$$

$$I = \left(\frac{0.15 - 0.03}{4} \right) \cdot \left(\frac{5.10 + 18.18}{2} + 10.00 + 7.14 + 5.88 \right) = 1.04$$

$$3. \quad I = \ln \frac{G_f}{G_w} \Rightarrow \frac{G_f}{G_w} = \exp(1.04) = 2.83$$

$$1. \quad G_f = G_w + G_p \Rightarrow \frac{G_f}{G_w} = 1 + \frac{G_p}{G_w} \Rightarrow$$

$$\frac{G_p}{G_w} = \frac{G_f}{G_w} - 1 = 2.83 - 1 = 1.83$$

$$2. \quad y_p = \frac{G_f \cdot x_f - G_w x_w}{G_p} = \frac{\frac{G_f}{G_w} \cdot x_f - x_w}{\frac{G_p}{G_w}} = \frac{2.83 \cdot 0.15 - 0.03}{1.83} = 0.215$$

zadatak za ve`banje: (4.8.)

4.8. Dvokomponentna me{avina (A+B) $G_f=100$ kmol, sastava $x_f=0.5 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmol(A+B)}}$, tretira se u procesu periodi~ne diferencijalne destilacije pri ~emu u parnu fazu prelazi 60 mol% sirovine.

Relativna isparljivost me{avine iznosi $\alpha=2.16$. Odrediti:

- srednji sastav destlata (x_d) kao i sastav ostatka (x_w)
- koli~inu komponente A u destilatu i ostatku (kmol)

re{enje:

$$a) \quad x_w = 0.3275 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmol(A+B)}}, \quad y_p = 0.615 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmol(A+B)}}$$

$$b) \quad \text{destilat: } n_A = 36.9 \text{ kmol} \quad \text{ostatak: } n_A = 13.1 \text{ kmol}$$

4.9. Vodeni (B) rastvor amonijaka (A), $G_f=360 \text{ kmol(A+B)/h}$, $x_f=0.1 \text{ kmolA/kmol(A+B)}$, destiluje se u procesu jednostepene ravnotežne destilacije, pri čemu sastav destilata iznosi $x_d=0.25 \text{ kmolA/kmol(A+B)}$. Ako se u radnom opsegu koncentracija ravnoteža u sistemu definiše jednačinom: $y^*=5x$ pri čemu su x i y molski udeli lakše isparljive komponente (A), odrediti:

a) maseni sastav ostatka, $\frac{\text{kgA}}{\text{kg(A+B)}}$

b) masene protoke destilata i ostatka, $\frac{\text{kg(A+B)}}{\text{h}}$

a)

$$y^* = 5 \cdot x \Leftrightarrow y_p = 5 \cdot x_w \Rightarrow x_w = \frac{y_p}{5} = \frac{0.25}{5} = 0.05 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmol(A+B)}}$$

$$\bar{x}_w = \frac{x_w \cdot M_A}{x_w \cdot M_A + (1 - x_w) \cdot M_B} = \frac{0.05 \cdot 17}{0.05 \cdot 17 + (1 - 0.05) \cdot 18} = 0.047 \frac{\text{kgA}}{\text{kg(A+B)}}$$

b)

1. $G_f = G_w + G_p$

2. $G_f \cdot x_f = G_w \cdot x_w + G_p \cdot y_p$

$$G_p = G_f \cdot \frac{x_f - x_w}{y_p - x_w} = 360 \cdot \frac{0.1 - 0.05}{0.25 - 0.05} = 90 \frac{\text{kmol(A+B)}}{\text{h}}$$

$$G_w = G_f \cdot \frac{y_p - x_f}{y_p - x_w} = 360 \cdot \frac{0.25 - 0.1}{0.25 - 0.05} = 270 \frac{\text{kmol(A+B)}}{\text{h}}$$

$$\bar{G}_p = G_p \cdot M_{Gp} = \dots = 90 \cdot 17.75 = 1597.5 \frac{\text{kg(A+B)}}{\text{h}}$$

$$\bar{G}_w = G_w \cdot M_{Gw} = \dots = 270 \cdot 17.95 = 4846.5 \frac{\text{kg(A+B)}}{\text{h}}$$

$$M_{Gp} = y_p \cdot M_A + (1 - y_p) \cdot M_B = 0.25 \cdot 17 + (1 - 0.25) \cdot 18 = 17.75 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}}$$

$$M_{Gw} = x_w \cdot M_A + (1 - x_w) \cdot M_B = 0.05 \cdot 17 + (1 - 0.05) \cdot 18 = 17.95 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}}$$

4.10. Binarna me{avina (A+B) $G_f=100$ kmol(A+B)/h, sastava $x_f=0.6$ molA/kmol(A+B) destili{e se u procesu jednostepene ravnote`ne destilacije, pri ~emu sastav destilata iznosi $x_d=0.66$ kmolA/kmol(A+B). Odrediti:

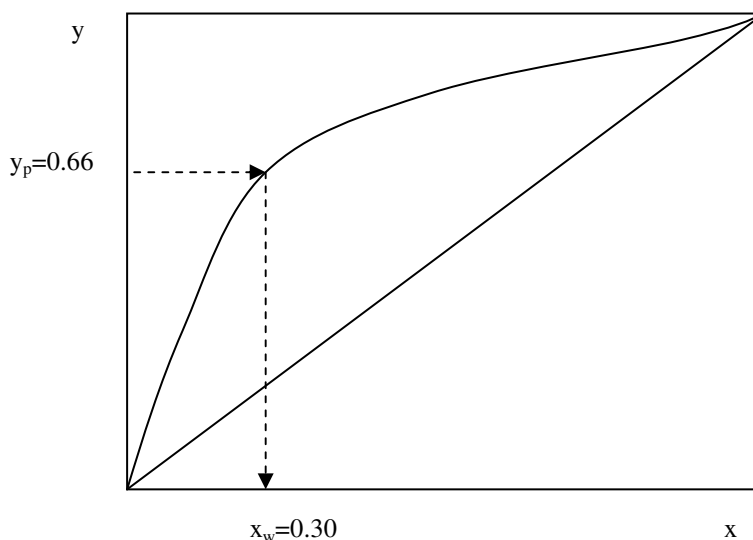
- molske protoke destilata i ostatka kmol(A+B)/h
- temperaturu po~etka klju~anja me{avine, kao i temperaturu u separatoru

Ravnote`a u sistemu defini{e slede}om tabelom:

x	0	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80	0.90	1
y*	0	0.42	0.58	0.66	0.73	0.78	0.83	0.87	0.92	0.96	1
T	100	87.7	81.7	78.0	75.3	73.1	71.2	69.3	67.6	66.0	64.5

x kmolA/kmol(A+B), y* kmolA/kmol(A+B), T °C

a)



$$1. \quad G_f = G_w + G_p$$

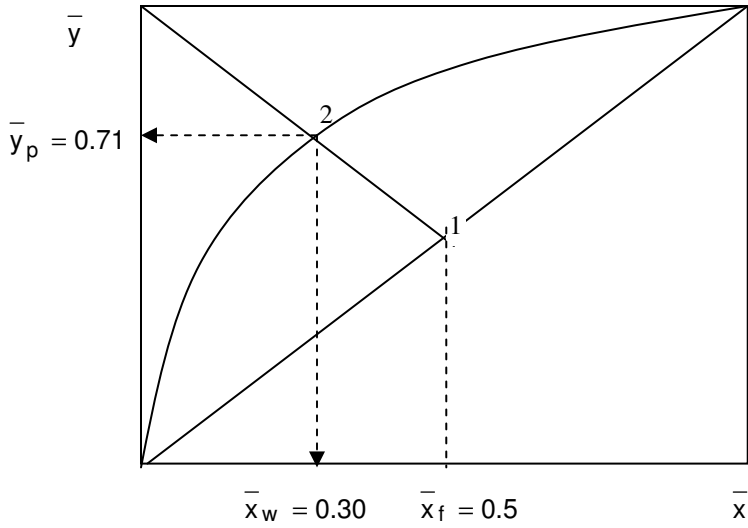
$$2. \quad G_f \cdot x_f = G_w \cdot x_w + G_p \cdot y_p$$

$$G_p = G_f \cdot \frac{x_f - x_w}{y_p - x_w} = 100 \cdot \frac{0.6 - 0.3}{0.66 - 0.3} = 83.33 \frac{\text{kmol(A+B)}}{\text{h}}$$

$$G_w = G_f \cdot \frac{y_p - x_f}{y_p - x_w} = 100 \cdot \frac{0.66 - 0.6}{0.66 - 0.3} = 16.67 \frac{\text{kmol(A+B)}}{\text{h}}$$

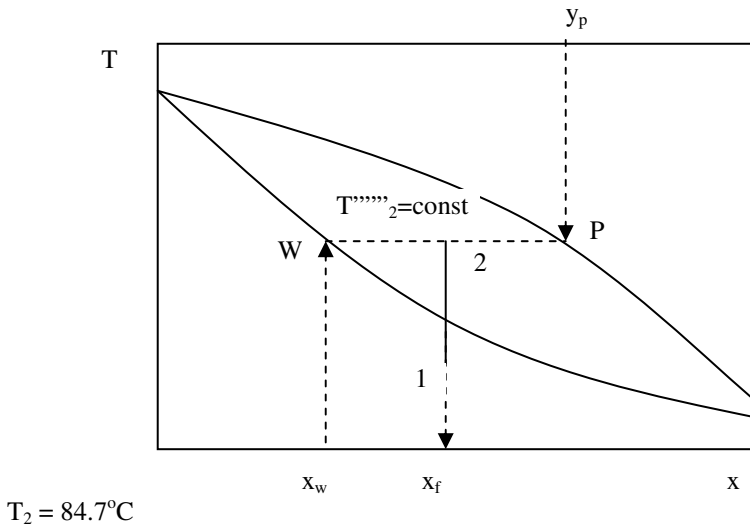
a) jednačina radne prave 1-2: $\bar{y} - \bar{y}_1 = -\frac{\bar{G}_w}{\bar{G}_p} \cdot (\bar{x} - \bar{x}_1) \Rightarrow$
 $\bar{y} - 0.5 = -1 \cdot (\bar{x} - 0.5) \Rightarrow \bar{y} = -\bar{x} + 1$

Ucrta se na ravnotežnom dijagramu radna prava: $\bar{y} = -\bar{x} + 1$. Presek radne prave sa ravnotežnom linijom definiše položaj tačke 2 (završetak destilacije).



$\bar{x}_w = 0.3 \frac{\text{kgA}}{\text{kg(A+B)}}, \bar{y}_p = \bar{x}_d = 0.71 \frac{\text{kgA}}{\text{kg(A+B)}}$ se čita sa dijagrama

b)



4.12. Binarna me{avina (A+B) sa 30 mol%A (lak{e isparljiva komponenta) u cilju dobijanja proizvoda sa ve}om koncentracijom hlороформа podvrgava se dvostepenoj ravnote`noj destilaciji. Ako je u momentu uspostavljanja ravnote`e u prvom stepenu temperatura 90°C i ako se ravnote`ni uslovi defini{u tabelarno:

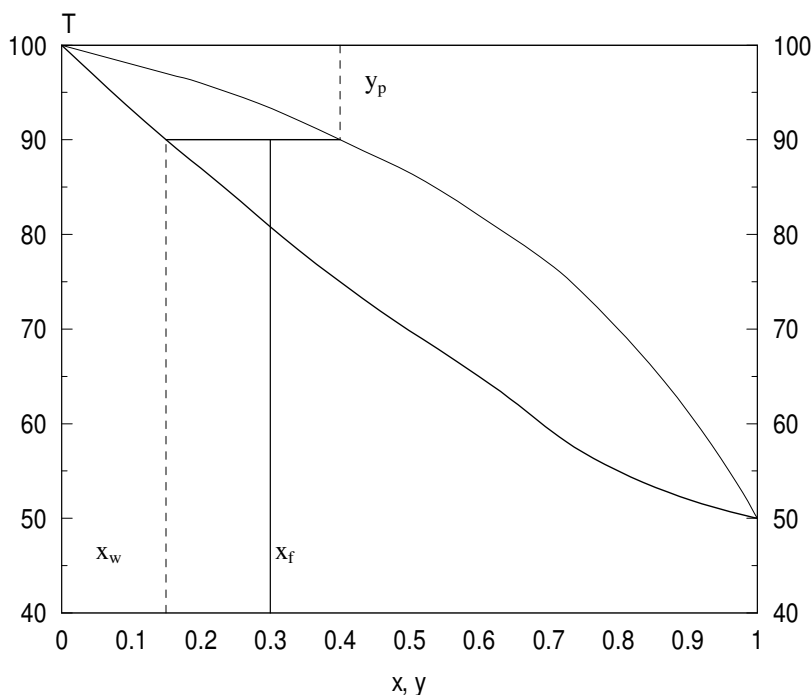
x, mol%	0	0.15	20	40	60	80	100
y, mol%	0	40	47	72	86	97	100
t, °C	100	90	88	75	65	55	50

Odrediti:

- koliko mol% po~etne sme{e ispari
- sastav destilata nakon drugog stepena destilacije, ako je odnos koli~ine te`nosti koja zaostaje u separatoru i koli~ine pare koja ispari i isti za oba stepena
- temperaturu u drugom separatoru

a)

prvi stepen:



$$y_p = 0.4 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmo(A + B)}}, x_w = 0.15 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmo(A + B)}} \quad (\text{pro} \sim \text{itano sa faznog dijagrama})$$

$$\frac{G_p}{G_f} = \frac{x_f - x_w}{y_p - x_w} = \frac{0.3 - 0.15}{0.4 - 0.15} = 0.6 \text{ (tj. ispari 60 mol\% po-etne sme{e)}$$

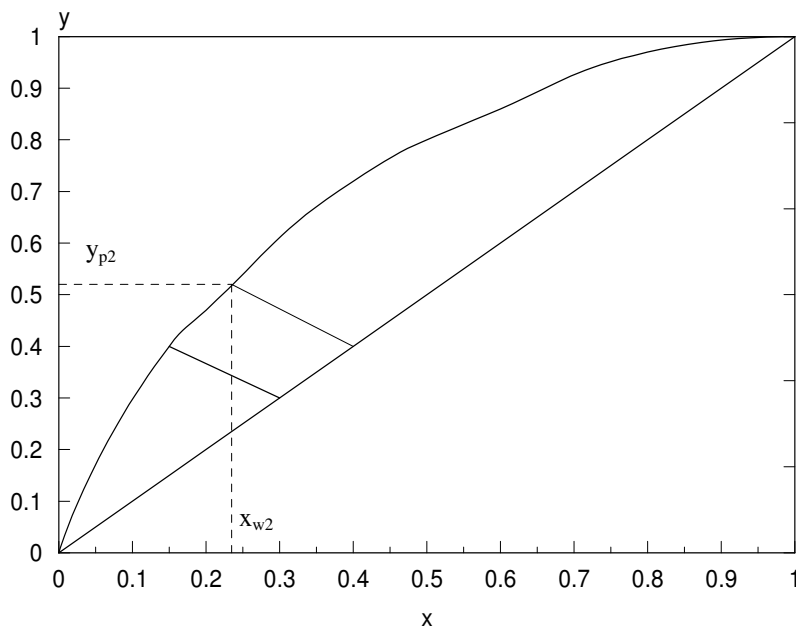
napomena: Odnos pare koja ispari i te~nosti koja zaostaje u prvom stepenu iznosi:

$$\frac{G_w}{G_p} = \frac{y_p - x_f}{x_f - x_w} = \frac{0.4 - 0.30}{0.3 - 0.15} = \frac{2}{3}$$

b)

procedura:

- nacрта se u ravnote`nom dijagramu radna prava procesa u prvom stepenu
- nacрта se radna prava procesa u drugom stepenu kroz ta~ku sa koordinatama $(x=y_p, y=y_p)$ (ova prava je paralelna sa radnom pravom procesa u prvom stepenu jer je po uslovu zadatka koeficijent pravca radne prave isti u oba stepena $\frac{G_w}{G_p} = \text{const}$)
- presek ove prave sa jedna~inom ravnote`ne linije defini{e stanje faza na kraju drugog stepena

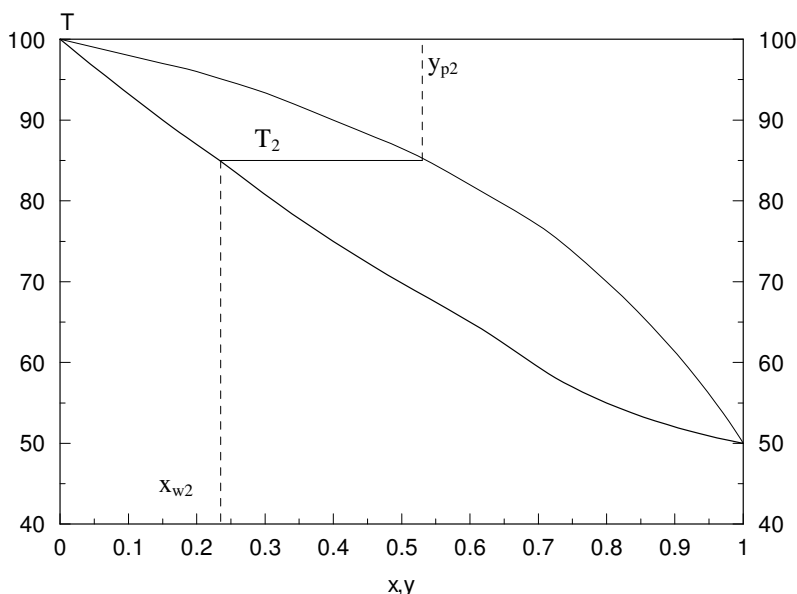


$$y_{p2} = 0.52 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmo(A + B)}}, \quad x_{w2} = 0.24 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmo(A + B)}}$$

(pro~itano sa ravnote`nog dijagrama)

c)

Na faznom dijagramu se uo~i izoterma koja prolazi kroz ta~ku $y_p=0.62$ (ili $x_w=0.24$)



Sa dijagrama se o~ita $T_2=85^\circ\text{C}$.

zadatak za ve`banje: (4.13.)

4.13. Sirovina koju ~ine lak{e isparljiva komponenta A i te`e isparljiva komponenta B sastava destili{e se u procesu jednostepene ravnote`ne destilacije pri ~emu ispari 60% sirovine. Temperatura po~etka klju~anja me{avine iznosi 62°C . Odrediti molske udele lak{e isparljive komponente u napojnoj sme{i (x_f) ostatku (x_w) i destilatu (x_d).

Ravnote`a u sistemu defini{e se tabelom:

x	0	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80	0.90	1
y^*	0	0.25	0.43	0.56	0.67	0.75	0.82	0.88	0.92	0.96	1
T	98.4	82.7	77.1	69.0	62	58.1	53.2	49.3	47.6	46.0	45.4

x kmolA/kmol(A+B), y^* kmolA/kmol(A+B), T $^\circ\text{C}$

re{enje: $x_f=0.4 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmol(A+B)}}$, $x_w=0.25 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmol(A+B)}}$, $y_p=x_d=0.5 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmol(A+B)}}$

4.14. Dvokomponentna me{avina (A+B) $G_f=100$ kmol, pri ~emu je A lak{e isparljiva komponenta, sastava $x_f=0.4$ kmolA/kmol(A+B) destili{e se tako da srednji sastav destilata iznosi $x_d=0.7$ kmolA/kmol(A+B). Ravnote`a u sistemu (u radnom opsegu koncentracija) defini{e se jedna~inom $y^*=2x$, gde su x i y molski udeli komponente A. Protok napojne sme{e iznosi. Odrediti sastav ostatka (x_w) i nastale koli~ine ostatka (G_w) i destilata (G_d) ako se destilacija vr{i:

- a) ravnotežno
b) diferencijalno

$$a) \quad y^* = 2 \cdot x \Leftrightarrow y_p = 2 \cdot x_w \Rightarrow x_w = \frac{y_p}{2} = \frac{0.7}{2} = 0.35 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmol(A+B)}}$$

$$1. \quad G_f = G_w + G_p$$

$$2. \quad G_f \cdot x_f = G_w \cdot x_w + G_p \cdot y_p$$

$$G_p = G_f \cdot \frac{x_f - x_w}{y_p - x_w} = 100 \cdot \frac{0.4 - 0.35}{0.7 - 0.35} = 14.28 \frac{\text{kmol(A+B)}}{h}$$

$$G_w = G_f \cdot \frac{y_p - x_f}{y_p - x_w} = 100 \cdot \frac{0.7 - 0.4}{0.7 - 0.35} = 85.72 \frac{\text{kmol(A+B)}}{h}$$

$$b) \quad y^* = 2x \quad \Rightarrow \quad a=2, b=0 \Rightarrow \quad \mathbf{I} = \ln x \Big|_{x_w}^{x_f} = \ln \frac{x_f}{x_w}$$

$$3. \quad \ln \frac{G_f}{G_w} = \ln \frac{x_f}{x_w}$$

$$1. \quad G_f = G_w + G_p$$

$$2. \quad G_f x_f = G_w x_w + G_p y_p$$

$$\text{iz 3.} \quad \Rightarrow \quad x_w = x_f \cdot \frac{G_w}{G_f}$$

$$\text{iz 1.} \quad \Rightarrow \quad G_p = G_f - G_w$$

$$\text{iz 2.} \quad \Rightarrow \quad G_f \cdot x_f = G_w \cdot x_f \cdot \frac{G_w}{G_f} + (G_f - G_w) \cdot y_p$$

$$100 \cdot 0.4 = G_w^2 \cdot \frac{0.4}{100} + (100 - G_w) \cdot 0.7 \quad \Rightarrow \quad 0.4 \cdot G_w^2 - 70 \cdot G_w + 3000 = 0$$

$G_{w1} = 100 \text{ kmol}$ ovo re{enje nije mogu}e ($G_f = 100 \text{ kmol}$)

$G_{w2} = 75 \text{ kmol}$ ovo je ta~no re{enje = G_w

$$1. \quad G_p = G_f - G_w = 100 - 75 = 25 \text{ kmol}$$

$$3. \quad x_w = x_f \cdot \frac{G_w}{G_f} = 0.4 \cdot \frac{75}{100} = 0.3 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmol(A+B)}}$$

4.15. Dvokomponentna mešavina (A+B), $G_f=100$ kmol, sastava $0.4 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmol(A+B)}}$ destiluje se u procesu jednostepene ravnotežne destilacije tako da dobijamo $G_d=50$ kmol destilata. Dobijeni destilat se dalje destiluje u procesu diferencijalne destilacije dok ne dobijemo osiromašeni ostatak sastava $0.1 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmol(A+B)}}$. Odrediti srednji sastav destilata koji dobijamo nakon procesa diferencijalne destilacije.

Ravnoteža u sistemu definiše se relativnom isparljivošću $\alpha=2$.

$$\alpha = 2 \Rightarrow y^* = \frac{2 \cdot x}{1 + x}$$

ravnotežna destilacija:

$$G_f = 100 \text{ kmol}, x_f = 0.4 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmol(A+B)}}, G_p = 50 \text{ kmol}$$

$$G_w = G_f - G_p = 100 - 50 = 50 \text{ kmol}$$

jednažina radne prave 1-2:

$$y - y_1 = -\frac{G_w}{G_p} \cdot (x - x_1) \Rightarrow$$

$$y - 0.4 = -1 \cdot (x - 0.4) \Rightarrow y = -x + 0.8$$

Presečna tačka radne prave 1-2 i ravnotežne linije $y^* = f(x)$, definiše položaj tačke 2. Koordinate presečne tačke dobijamo rešavanjem sistema dve jednažine sa 2 nepoznate:

$$y = \frac{2 \cdot x}{1 + x} \quad (1) \quad (\text{ravnotežna linija})$$

$$y = -x + 0.8 \quad (2) \quad (\text{radna prava})$$

kombinovanjem prethodne dve jednažine dobija se: $x^2 + 2.2 \cdot x - 0.8 = 0$
rešavanjem kvadratne jednažine dobija se:

$$x = 0.318 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmol(A+B)}} = x_w$$

rešavanjem vrednosti za x_w u bilo koju od jednažina (1) ili (2) dobija se:

$$y = 0.482 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmol(A+B)}} = y_p$$

diferencijalna destilacija:

$$G_f = 50 \text{ kmol}, x_f = 0.482 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmol(A+B)}}, x_w = 0.1 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmol(A+B)}}$$

$$\alpha = 2 \Rightarrow y^* = \frac{2 \cdot x}{1+x} \Rightarrow \mathbf{I} = \ln \frac{x}{(1-x)^2} \Big|_{x_w}^{x_f} = \ln \frac{x_f \cdot (1-x_w)^2}{x_w \cdot (1-x_f)^2}$$

$$3. \quad \ln \frac{G_f}{G_w} = \ln \frac{x_f \cdot (1-x_w)^2}{x_w \cdot (1-x_f)^2}$$

$$G_w = G_f \cdot \frac{x_w \cdot (1-x_f)^2}{x_f \cdot (1-x_w)^2} = 50 \cdot \frac{0.1}{0.482} \cdot \frac{(1-0.482)^2}{(1-0.1)^2} = 3.44 \text{ kmol}$$

$$3. \quad G_p = G_f - G_w = 50 - 3.44 = 46.56 \text{ kmol} = G_d$$

$$y_p = \frac{G_f \cdot x_f - G_w \cdot x_w}{G_p} = \frac{50 \cdot 0.482 - 3.44 \cdot 0.1}{46.56} = 0.51 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmol(A+B)}}$$

zadatak za vežbanje: (4.16.)

4.16. Dvokomponentna mešavina (A+B) sastava $x_f = 0.45 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmol(A+B)}}$ podvrgava se procesu

destilacije pri čemu se dobija para srednjeg sastava $y_p = 0.75$. Ravnoteža u sistemu se definiše jednačinom $y^* = 2 \cdot x$ (u radnom opsegu koncentracija) gde su x i y molski udeli komponente A. Odrediti koliko procenata sirovine ispari ako se destilacija vrši:

- ravnotežno
- diferencijalno

$$\text{rešenje: } \frac{G_p}{G_f} = 0.2 \quad (x_w = 0.375) \quad \text{b) } \quad \frac{G_p}{G_f} = 0.33 \quad (x_w = 0.3)$$

5.1. U kontinualnu rektifikacionu kolonu dovodi se binarna mešavina (A+B) sastava $x_f=20 \text{ mol\% A}$, protoka $G_f=1000 \text{ kmol/h}$. Iz kolone se izdvaja $G_p=850 \text{ kmol/h}$ pare sastava $y_p=90 \text{ mol\% A}$, koja se potpuno kondenzuje u kondenzatoru, pri čemu se $G_R=650 \text{ kmol/h}$ kondenzata vraća u kolonu kao refluks. Odrediti:

- molski protok osiromašenog ostatka (G_w) kao i molski udeo komponente A u osiromašenom ostatku (x_w)
- refluksni odnos (R)
- molske protoke tečne i parne faze kroz zonu jačanja i zonu slabljenja ako je napojna smeša tečna ($T_f=20^\circ\text{C}$, $T_{kj}=95^\circ\text{C}$, $c_f=160000 \text{ J/kmolK}$, $r=30000 \text{ kJ/kmol}$)

a)

materijalni bilans za separator kondenzata:

$$G_p = G_f + G_d \quad \Rightarrow \quad G_d = G_p - G_f = 850 - 650 = 200 \text{ kmol/h}$$

materijalni bilans postrojenja za rektifikaciju:

$$G_f = G_w + G_d \quad \Rightarrow \quad G_w = G_f - G_d = 1000 - 200 = 800 \text{ kmol/h}$$

materijalni bilans komponente A (laka isparljiva komponenta):

$$G_f \cdot x_f = G_w \cdot x_w + G_d \cdot x_d \quad \Rightarrow \quad x_w = \frac{G_f \cdot x_f - G_d \cdot x_d}{G_w}$$

$$x_w = \frac{1000 \cdot 0.2 - 200 \cdot 0.9}{800} = 0.025 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmol(A+B)}}$$

b)

$$R = \frac{G_f}{G_d} = \frac{650}{200} = 3.25 \frac{\text{kmol}}{\text{kmol}}$$

b)

$$q = \frac{r + c_f \cdot (T_k - T_f)}{r} = \frac{30000 + 160 \cdot (95 - 20)}{30000} = 1.4$$

$$L' = G_f = 650 \text{ kmol/h}$$

$$G' = G_p = 850 \text{ kmol/h}$$

$$L'' = L' + q \cdot G_f = 650 + 1.4 \cdot 1000 = 2050 \text{ kmol/h}$$

$$G'' = G' - (1 - q) \cdot G_f = 850 - (1 - 1.4) \cdot 1000 = 1250 \text{ kmol/h}$$

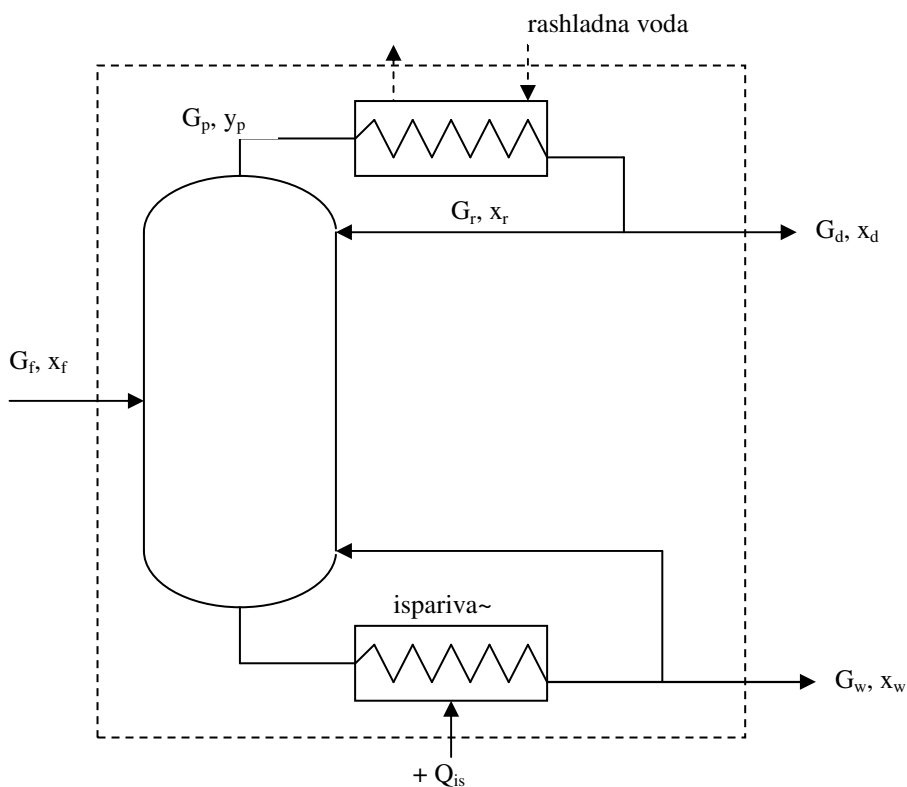
5.2. U rektifikacionoj koloni obavlja se proces razdvajanja dvokomponentne me{avine (A+B), A je lak{e isparljiva komponenta. Sirovina sastava $x_f=0.4 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmol(A+B)}}$, protoka $G_f=0.1 \text{ kmol/s}$ ulazi u kolonu sa entalpijom $h_f=10.3 \text{ MJ/kmol}$. Para sa vrha kolone sastava $y_p=0.95 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmol(A+B)}}$, entalpije $h_p=27 \text{ MJ/kmol}$, ulazi u kondenzator gde se potpuno kondenzuje, pri ~emu se deo kondenzata vra}a u kolonu kao refluks

($R=3 \frac{\text{kmol}}{\text{kmol}}$). Preostali kondenzat, entalpije $h_d=3.34 \text{ MJ/kmol}$ izlazi iz kolone kao finalni proizvod

(destilat). Osiroma{eni ostatak na dnu kolone ima sastav $x_w=0.05 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmol(A+B)}}$ i entalpiju $h_w=14.7 \text{ MJ/kmol}$.

MJ/kmol. Odrediti:

- molske protoke destilata (G_d) i osiroma{enog ostatka (G_w)
- potro{nju hladne vode u kondenzatoru pare ako prira{taj temperature vode ($c_w=4.18 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}}$) pri proticanju kroz kondenzator iznosi $\Delta T_w=18 \text{ K}$
- toplotno optere}enje ispariva~a, Q_{is}



a)

$$G_f = G_w + G_d$$

$$G_f \cdot x_f = G_w \cdot x_w + G_d \cdot x_d$$

kombinovanjem prethodne dve jedna~ine dobija se:

$$G_d = G_f \cdot \frac{x_f - x_w}{x_d - x_w} = 0.1 \cdot \frac{0.4 - 0.05}{0.95 - 0.05} = 0.0389 \frac{\text{kmol}}{\text{s}}$$

$$G_w = G_f \cdot \frac{x_d - x_f}{x_d - x_w} = 0.1 \cdot \frac{0.95 - 0.05}{0.95 - 0.05} = 0.0611 \frac{\text{kmol}}{\text{s}}$$

b)

$$R = \frac{G_r}{G_d} \quad \Rightarrow \quad G_r = R \cdot G_d = 3 \cdot 0.0389 = 0.1167 \frac{\text{kmol}}{\text{s}}$$

$$G_p = G_r + G_d = 0.1167 + 0.0389 = 0.1556 \frac{\text{kmol}}{\text{s}}$$

toplotni bilans kondenzatora:

$$-\Delta H_{Gp} = -\Delta H_{\text{voda}} \quad \Rightarrow \quad \dot{m}_w = \frac{G_p \cdot (h_p - h_d)}{c_w \cdot \Delta T_w}$$

$$\dot{m}_w = \frac{0.1556 \cdot (27 \cdot 10^3 - 3.34 \cdot 10^3)}{4.18 \cdot 18} = 48.93 \text{ kg/s}$$

c)

toplotni bilans postrojenja za rektifikaciju (isprekidana kontura):

$$Q_{is} = G_d \cdot h_d + G_w \cdot h_w - G_f \cdot h_f + \dot{m} \cdot c_w \cdot \Delta T_w$$

$$Q_{is} = 0.0389 \cdot 3.34 \cdot 10^3 + 0.0611 \cdot 14.7 \cdot 10^3 - 0.1 \cdot 10.3 \cdot 10^3 + 48.93 \cdot 4.18 \cdot 18$$

$$Q_{is} = 3979 \text{ kW}$$

5.3. Sme{a metanola(A) i vode (B) uvodi se u kontinualnu rektifikacionu kolonu kao te~nost na temperaturi klju~anja ($q=1$) i sadr`i 12 mas% metanola. Protok napojne sme{e iznosi 1500 kg/h. U destilatu se nalazi 90 mas% metanola a u ostatku 5 mas% metanola. Protok rashladne vode

($c_w=4.18 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}}$) kroz kondenzator iznosi 3500 kg/h. Voda se pri proticanju kroz kondenzator zagreje za

$\Delta T=50^\circ\text{C}$. Destilat na izlazu iz kondenzatora je klju~ala te~nost. Integralna toplota kondenzacije pare metanola i vode iznosi $r=40500 \text{ kJ/kmol}$. Za date radne uslove:

- odrediti protoke parne i te~ne faze kroz zonu ja~anja i zonu slabljenja (kmol/h)
- napisati jedna~inu operacione linije zone ja~anja (GRP) i zone slabljenja (DRP)

a)

$$\text{toplotni bilans kondenzatora:} \quad -\Delta H_{Gp} = -\Delta H_{\text{voda}}$$

$$-G_p \cdot (h_d - h_p) = \dot{m}_w \cdot c_w \cdot \Delta T_w \quad G_p \cdot r = \dot{m}_w \cdot c_w \cdot \Delta T_w$$

$$G_p = \frac{\dot{m}_w \cdot c_w \cdot \Delta T_w}{r} = \frac{3500 \cdot 4.18 \cdot 50}{40500} = 18.06 \frac{\text{kmol}}{\text{h}}$$

$$\bar{G}_f = \bar{G}_w + \bar{G}_d$$

$$\bar{G}_f \cdot \bar{x}_f = \bar{G}_w \cdot \bar{x}_w + \bar{G}_d \cdot \bar{x}_d$$

kombinovanjem prethodne dve jedna~ine dobija se:

$$\bar{G}_d = \bar{G}_f \cdot \frac{\bar{x}_f - \bar{x}_w}{\bar{x}_d - \bar{x}_w} = 1500 \cdot \frac{0.12 - 0.05}{0.90 - 0.05} = 123.53 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

$$\bar{G}_w = \bar{G}_f \cdot \frac{\bar{x}_d - \bar{x}_f}{\bar{x}_d - \bar{x}_w} = 1500 \cdot \frac{0.95 - 0.12}{0.90 - 0.05} = 1376.47 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

$$x_d = \frac{\frac{\bar{G}_d}{M_A}}{\frac{\bar{G}_d}{M_A} + \frac{1 - \bar{x}_d}{M_B}} = \frac{\frac{0.9}{32}}{\frac{0.9}{32} + \frac{1 - 0.9}{18}} = 0.835 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmol(A+B)}}$$

$$M_{Gd} = x_d M_A + (1 - x_d) M_B = 0.835 \cdot 32 + (1 - 0.835) \cdot 18 = 29.69 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}}$$

$$G_d = \frac{\bar{G}_d}{M_{Gd}} = \frac{123.53}{29.69} = 4.16 \frac{\text{kmol}}{\text{h}}$$

materijalni bilans za separator kondenzata:

$$G_p = G_r + G_d \quad \Rightarrow \quad G_r = G_p - G_d = 18.06 - 4.16 = 13.90 \text{ kmol/h}$$

$$x_f = \frac{\frac{\bar{x}_f}{M_A}}{\frac{\bar{x}_f}{M_A} + \frac{1 - \bar{x}_f}{M_B}} = \frac{\frac{0.12}{32}}{\frac{0.12}{32} + \frac{1 - 0.12}{18}} = 0.07 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmol(A+B)}}$$

$$M_{Gf} = x_f M_A + (1 - x_f) M_B = 0.07 \cdot 32 + (1 - 0.07) \cdot 18 = 18.98 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}}$$

$$G_f = \frac{\bar{G}_f}{M_{Gf}} = \frac{1500}{18.98} = 79.03 \frac{\text{kmol}}{\text{h}}$$

$q=1$ (napojna sme{a klju~ala te~nost)

$$L' = G_r = 13.90 \text{ kmol/h}$$

$$G' = G_p = 18.06 \text{ kmol/h}$$

$$L'' = L' + q \cdot G_f = 13.90 + 1 \cdot 79.03 = 92.93 \text{ kmol/h}$$

$$G'' = G' - (1 - q) \cdot G_f = 18.06 - (1 - 1) \cdot 79.03 = 18.06 \text{ kmol/h}$$

b)

GRP:

$$y = \frac{L'}{G'} \cdot x + \frac{G_d}{G'} \cdot x_d \quad y = \frac{13.90}{18.06} \cdot x + \frac{4.16}{18.06} \cdot 0.835 \quad y = 0.769 \cdot x + 0.192$$

DRP:

$$y = \frac{L''}{G''} \cdot x - \frac{G_w}{G''} \cdot x_w \quad y = \frac{92.93}{18.06} \cdot x - \frac{74.77}{18.06} \cdot 0.029 \quad y = 5.145 \cdot x - 0.120$$

$$x_w = \frac{\frac{\bar{x}_w}{M_A}}{\frac{\bar{x}_w}{M_A} + \frac{1 - \bar{x}_w}{M_B}} = \frac{\frac{0.05}{32}}{\frac{0.05}{32} + \frac{1 - 0.05}{18}} = 0.029 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmol(A+B)}}$$

$$M_{Gw} = x_w M_A + (1 - x_w) M_B = 0.029 \cdot 32 + (1 - 0.029) \cdot 18 = 18.41 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}}$$

$$G_w = \frac{\bar{G}_w}{M_{Gw}} = \frac{1376.47}{18.41} = 74.77 \frac{\text{kmol}}{\text{h}}$$

5.4. Dvokomponentna mešavina (A+B) koji sadrži $x_f=45$ mol% komponente A uvodi se, zagrejana do temperature ključanja, u kontinualnu rektifikacionu kolonu. Molski udeo komponente A u destilatu je $x_d=0.8$ a u ostatku $x_w=0.1$. Ako kolona radi sa refluksnim odnosom $R=3$ kmol/kmol i ako se ravnoteža u sistemu definiše tabelom:

x	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
y^*	0	0.25	0.43	0.56	0.67	0.78	0.82	0.88	0.92	0.96	1

pri čemu je: x kmolA/kmol(A+B), y^* kmolA/kmol(A+B), odrediti:

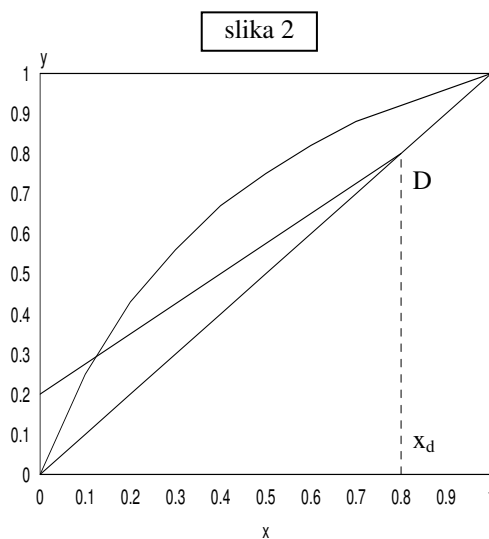
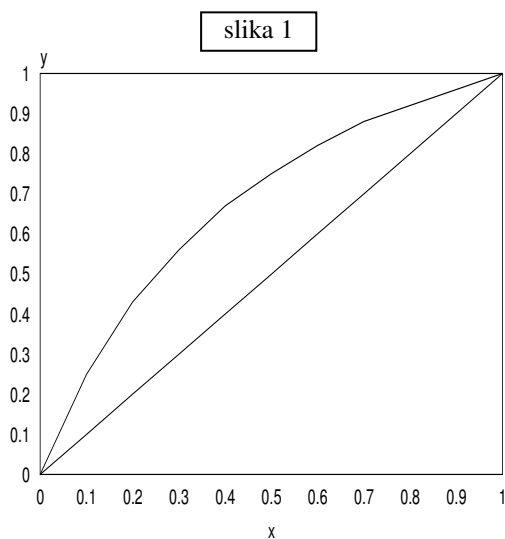
- broj teorijskih podova
- minimalni refluksni odnos

a)

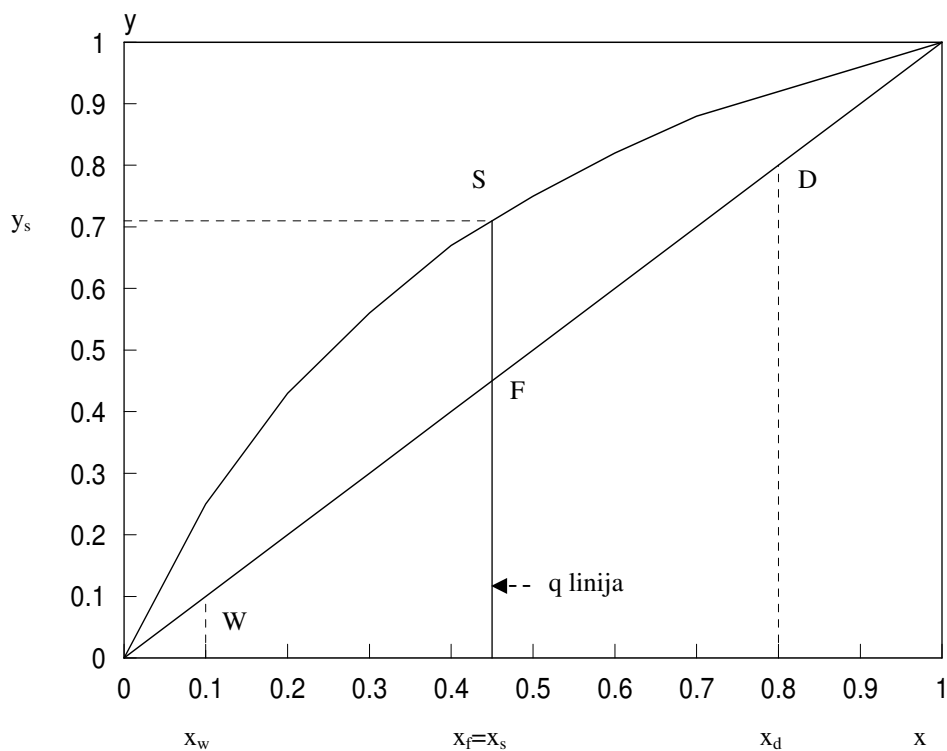
$$\text{GRP: } y = \frac{R}{R+1} \cdot x + \frac{1}{R+1} \cdot x_d$$

$$y = \frac{3}{3+1} \cdot x + \frac{1}{3+1} \cdot 0.8 \quad \Rightarrow \quad y = 0.75 \cdot x + 0.2$$

Na osnovu ravnotežnih podataka konstruiše se ravnotežni dijagram (slika 1), a zatim se konstruiše GRP kroz tačku $D(x_d, x_d)$, i odsečak na y -osi $y=0.2$ (slika2)



b)



Konstrui{e se q-linija kroz ta~ku $F(x_f, x_f)$ (q linija je vertikalna zbog $q=1$).
Presek q linije sa ravnote`nom linijom defini{e polo`aj ta~ke $S(x_s, y_s)$.

$$x_s = x_f = 0.45 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmol(A + B)}}, \quad y_s = 0.71 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmol(A + B)}}$$

$$R_{\min} = \frac{x_d - y_s}{y_s - x_s} = \frac{0.9 - 0.71}{0.71 - 0.45} = 0.73$$

napomena: Koordinate ta~ke $S(x_s, y_s)$ se ~itaju sa dijagrama

5.5. U kontinualnoj rektifikacionoj koloni obavlja se proces razdvajanja mešavine koju čine benzol (A) i toluol (B). Lakše isparljiva komponenta je benzol (A). Sastav napojne smeše je $x_f=0.45$ kmolA/kmol(A+B). U destilatu se nalazi 95 mol% benzola a u ostatku 90 mol% toluola. Napojna smeša je tečnost ($T_f < T_{klj}$), $q=1.25$. Odrediti:

- položaj napojnog poda ako kolona radi sa refluksnim odnosom $R=4$ kmol/kmol
- broj podova kada bi kolona radila totalnim refluksom

Ravnoteža u sistemu se definiše tabelom:

x	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
y*	0	0.25	0.43	0.56	0.67	0.78	0.82	0.88	0.92	0.96	1

primenjuje se: x kmolA/kmol(A+B), y^* kmolA/kmol(A+B)

a)

$$\text{GRP: } y = \frac{R}{R+1} \cdot x + \frac{1}{R+1} \cdot x_d$$

$$y = \frac{4}{4+1} \cdot x + \frac{1}{4+1} \cdot 0.95 \quad \Rightarrow \quad y = 0.8 \cdot x + 0.19$$

$$\text{DRP: } y = \frac{R+q \cdot f}{R+1-(1-q) \cdot f} x - \frac{f-1}{R+1-(1-q) \cdot f} x_w$$

$$q=1.25 \text{ (uslov zadatka)} \quad f = \frac{x_d - x_w}{x_f - x_w} = \frac{0.95 - 0.1}{0.45 - 0.1} = 2.428$$

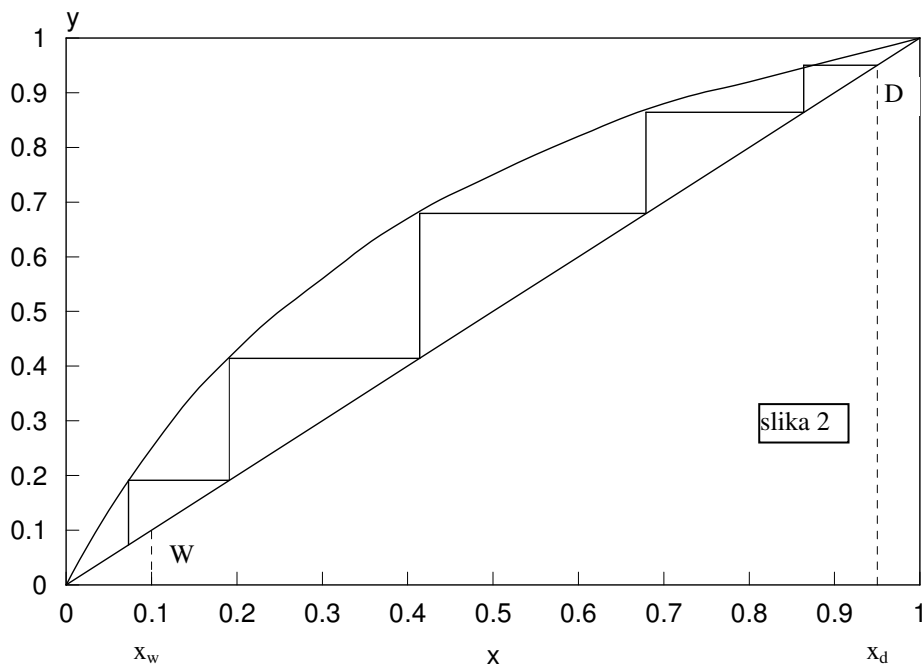
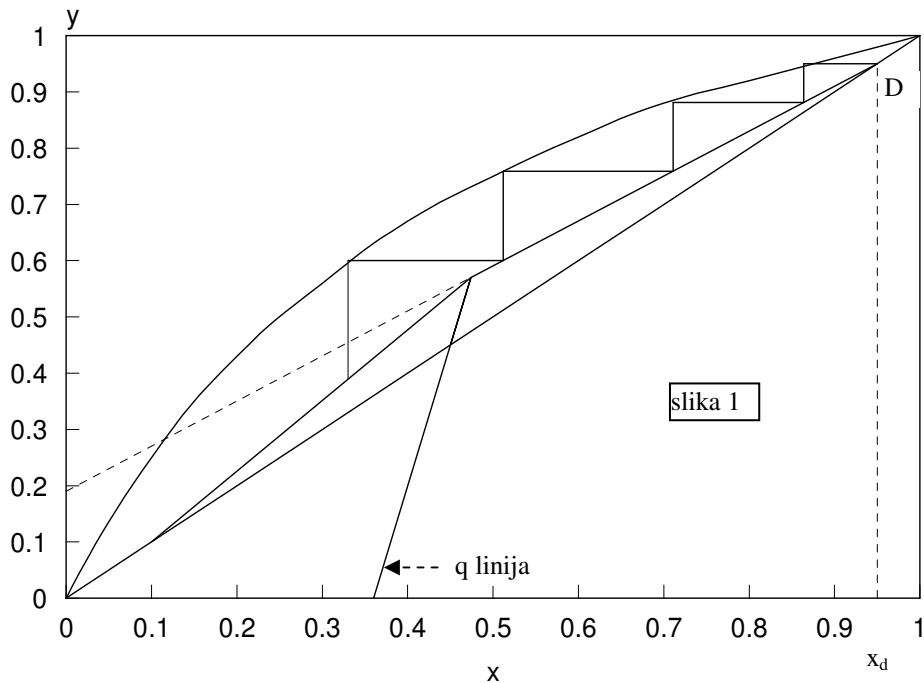
$$y = \frac{4 + 1.25 \cdot 2.428}{4 + 1} x - \frac{2.428 - 1}{4 + 1} \cdot 0.1 \quad \Rightarrow \quad y = 1.255 \cdot x - 0.025$$

Na osnovu ravnotežnih podataka konstruiše se ravnotežni dijagram, a zatim se konstruiše GRP kroz tačku $D(x_d, x_d)$, i odsečak na y-osi $y=0.19$. Nakon toga na ravnotežnom dijagramu konstruiše se DRP kroz tačku $W(x_w, x_w)$ i kroz tačku $T(x_t, y_t)$, a zatim ucrtaju stepenice između GRP i ravnotežne linije počevši od tačke $D(x_d, x_d)$ zaključno sa tačkom u kojoj se seku GRP i DRP. Položaj napojnog poda određen je tačkom preseka GRP i DRP. U našem slučaju napojna smeša se dovodi na 4. teorijski pod kolone (slika 1)

napomena: $x_t=0.3$ se uzima proizvoljno, a $y_t=0.3515$ se izračunava iz DRP

b)

U slučaju totalnog refluksa broj teorijskih podova se određuje ucrtavanjem stepenica između dijagonale i ravnotežne linije, počevši od tačke $D(x_d, x_d)$ zaključno sa tačkom $W(x_w, x_w)$. U našem slučaju $n_t = 4.7$ (slika 2)



5.6. Pri rektifikaciji smeše metanola (A) i vode (B) sastava $x_f=0.3 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmol(A+B)}}$ dobija se destilat

sastava $x_d=0.9 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmol(A+B)}}$. Koeficijent pravca q-linije iznosi $\text{tg}\alpha=6$. Odrediti:

a) minimalni refluksni odnos za dati režim rada

- b) sastav ostatka (x_w) ako bi kolona imala 3 teorijska stepena kontakata radeji maksimalnim mogućim (totalnim) refluksom

Ravnote`a u sistemu se defini{e tabelom:

x	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
y*	0	0.31	0.50	0.63	0.73	0.8	0.86	0.90	0.94	0.97	1

pri ~emu je : x kmolA/kmol(A+B), y* kmolA/kmol(A+B)

a)

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{q}{q-1} \quad \Rightarrow \quad q = \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\operatorname{tg} \alpha - 1} = \frac{6}{6-1} = 1.2$$

$$q \text{ linija: } y = \frac{q}{q-1} \cdot x - \frac{1}{q-1} \cdot x_f$$

$$y = \frac{1.2}{1.2-1} \cdot x - \frac{1}{1.2-1} \cdot 0.3 \quad y = 6 \cdot x - 1.5$$

Na osnovu ravnote`nih podataka konstrui{e se ravnote`ni dijagram, a zatim se konstrui{e q linija kroz ta~ku F(x_f , x_f), i kroz ta~ku ta~ku T(x_t , y_t). Prese~na ta~ka q linije i ravnote`ne linije defini{e polo`aj ta~ke S(x_s , y_s) (slika 1).

$$x_s = 0.366 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmol(A+B)}}, \quad y_s = 0.698 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmol(A+B)}}$$

$$R_{\min} = \frac{x_d - y_s}{y_s - x_s} = \frac{0.9 - 0.698}{0.698 - 0.366} = 0.61 \frac{\text{kmol}}{\text{kmol}}$$

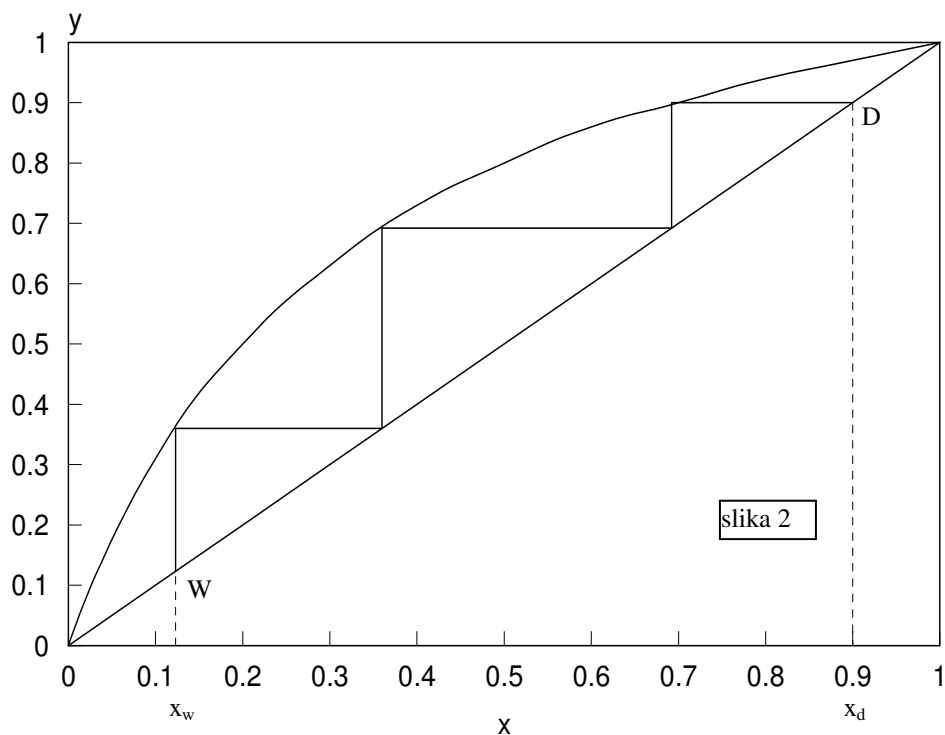
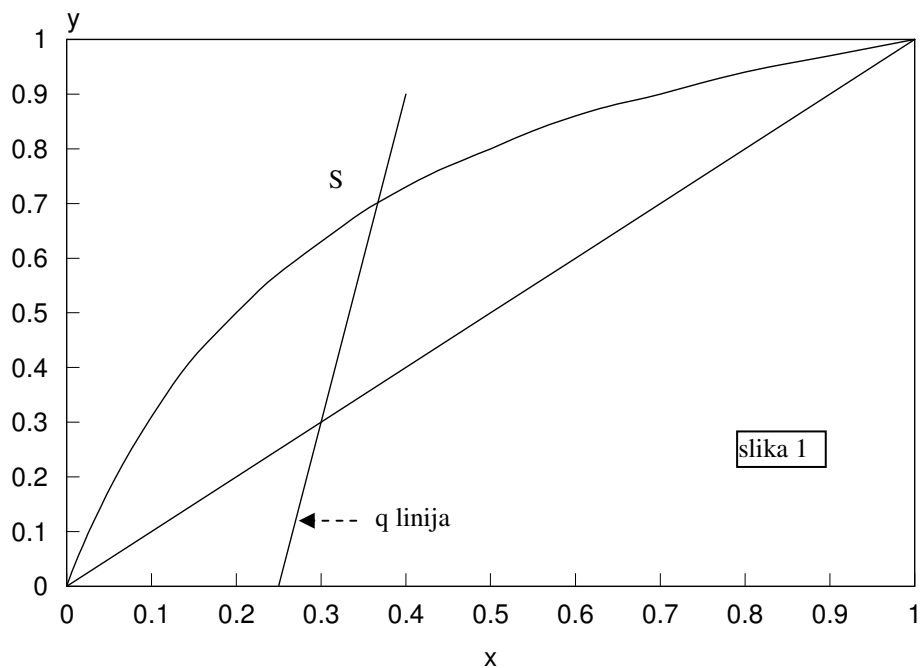
napomene:

Koordinate ta~ke S(x_s , y_s) se ~itaju sa dijagrama $x_t=0.4$ se uzima proizvoljno, a $y_t=0.9$ se izra~una iz q linije

b)

Konstrui{u se tri stepenice izmelu dijagonale i ravnote`ne linije. Zavr{etak tre}e stepenice na ravnote`noj liniji defini{e polo`aj ta~ke W(x_w , x_w) (slika 2).

$$x_w = 0.123 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmol(A+B)}} \quad \text{pro~itano sa dijagrama}$$



5.7. U kontinualnu rektifikacionu kolonu uvodi se sme{a benzola(A) i toluola(B), $G_f=1$ kmol(A+B)/s, sastava $x_f=0.2$ kmolA/kmol(A+B). Ako je protok te~ne faze u zoni slabljenja $L''=1$ kmol/s, protok te~ne faze u zoni ja~anja $L'=0.2$ kmol/s i ako kolona radi sa refraktnim odnosom $R=R_{\min}=3$ odrediti:

- a) molske protoke faza koje napuštaju postrojenje za rektifikaciju (G_w, G_d)
 b) molske udele benzola u fazama koje napuštaju postrojenje za rektifikaciju (x_w, x_d)

Ravnoteža u sistemu definiše se tabelom:

x	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
y*	0	0.23	0.38	0.5	0.61	0.7	0.78	0.86	0.92	0.97	1

pri čemu je : x kmolA/kmol(A+B), y^* kmolA/kmol(A+B)

a,b)

$$L'' = L' + q \cdot G_f \Rightarrow q = \frac{L'' - L'}{G_f} = \frac{1 - 0.2}{1} = 0.8$$

jednačina q linije:
$$y = \frac{q}{q-1} \cdot x - \frac{1}{q-1} \cdot x_f$$

$$y = \frac{0.8}{0.8-1} \cdot x - \frac{1}{0.8-1} \cdot 0.2 \qquad y = -4 \cdot x + 1$$

Na osnovu ravnotežnih podataka konstruiše se ravnotežni dijagram, a zatim se konstruiše q linija kroz tačku F(x_f, x_f), i kroz tačku tačku T(x_t, y_t). Presečna tačka q linije i ravnotežne linije definiše položaj tačke S(x_s, y_s).

$$x_s = 0.175 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmol(A+B)}}, \quad y_s = 0.3 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmol(A+B)}} \text{ pročitano sa dijagrama.}$$

napomena: x_t se uzima proizvoljno, y_t se izražava iz jednačine q linije

$$R_{\min} = \frac{x_d - y_s}{y_s - x_s} \Rightarrow x_d = y_s + R_{\min} \cdot (y_s - x_s) = 0.675 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmol(A+B)}}$$

$$R_{\min} = \frac{L'}{G_d} \Rightarrow G_d = \frac{L'}{R_{\min}} = \frac{0.2}{3} = 0.067 \frac{\text{kmol}}{\text{s}}$$

$$G_w = G_f - G_d = 1 - 0.067 = 0.933 \frac{\text{kmol}}{\text{s}}$$

$$x_w = \frac{G_f \cdot x_f - G_d \cdot x_d}{G_w} = \frac{1 \cdot 0.2 - 0.067 \cdot 0.675}{0.933} = 0.166 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmol(A+B)}}$$

5.8. Pri kontinualnoj rektifikaciji n-heptana (A) i n-oktana (B) jedna~ina gornje radne prave ima oblik $y = 0.58 \cdot x + 0.3$. Napojna sme{a se uvodi u kolonu kao te~nost na temperaturi klju~anja i sadr`i 43 mol% n-heptana. Ako se na tri kmola ostatka odvodi jedan kmol destilata, odrediti:

- refluksni odnos
- sastave destilata (x_d) i ostatka (x_w)
- broj realnih podova ako efikasnost kolone iznosi $\epsilon=0.6$

x	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
y*	0	0.18	0.33	0.46	0.57	0.67	0.75	0.82	0.89	0.95	1

pri ~emu je : x kmolA/kmol(A+B), y* kmolA/kmol(A+B)

a)

$$\frac{R}{R+1} = 0.58 \Rightarrow R = \frac{0.58}{0.42} = 1.381$$

b)

$$\frac{1}{R+1} \cdot x_d = 0.3 \Rightarrow x_d = 0.3 \cdot (R+1) = 0.3 \cdot (1.381+1) = 0.714 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmol(A+B)}}$$

$$G_f = G_w + G_d \Rightarrow \frac{G_f}{G_d} = \frac{G_w}{G_d} + 1 = 3 + 1 = 4 \Rightarrow f = \frac{G_f}{G_d} = 4$$

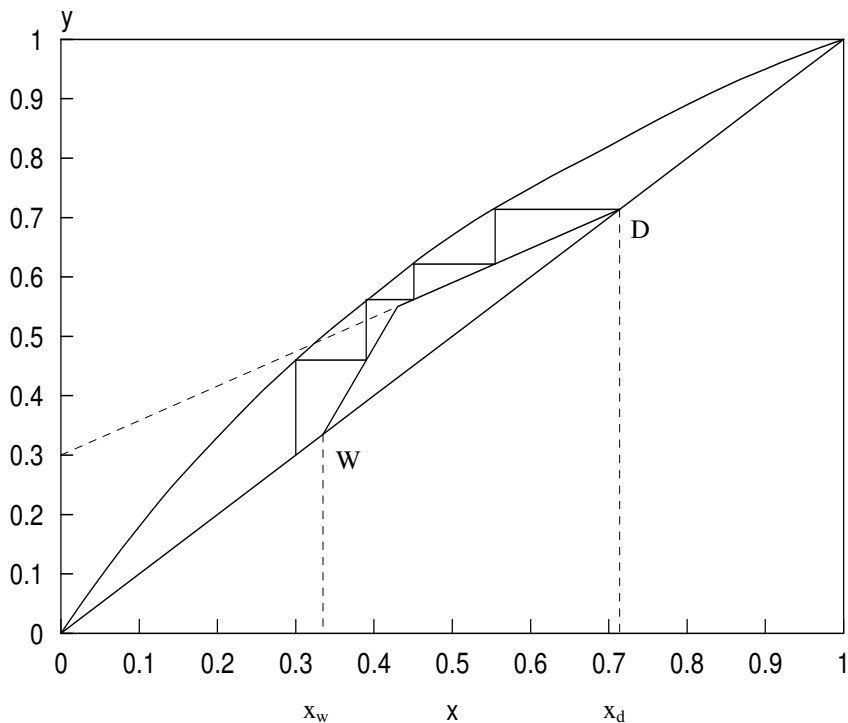
$$f = \frac{x_d - x_w}{x_f - x_w} \Rightarrow x_w = \frac{x_d - f \cdot x_f}{1 - f} = \frac{0.714 - 4 \cdot 0.43}{1 - 4} = 0.335 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmol(A+B)}}$$

c)

Na osnovu ravnote`nih podataka konstrui{e se ravnote`ni dijagram, a zatim se konstrui{e GRP kroz ta~ku D(x_d , x_d), i odse~ak na y-osi $y=0.30$. Nakon toga na ravnote`nom dijagramu konstrui{e se q linija kroz ta~ku F(x_f , x_f) (vertikalna za slu~aj $q=1$). Nakon toga konstrui{emo DRP kroz ta~ku W(x_w , x_w) i kroz ta~ku preseka GRP i q linije. Zatim se ucrtaju stepenice izmelu GRP i ravnote`ne linije ($x > x_f$) odnosno izmelu DRP i ravnote`ne linije ($x < x_f$) po~ev{i od ta~ke D(x_d , x_d) zaklju~no sa ta~kom W(x_w , x_w).

$$n_t = 3.6$$

$$n_{st} = \frac{n_t}{\epsilon} = \frac{3.6}{0.6} = 6$$



zadatak za ve`banje: (5.9.)

5.9. U kontinualnoj rektifikacionoj koloni obavlja se proces razdvajanja 4500 kg/h me{avine koju ~ine benzol-A (lak{e isparljiva komponenta) i toluol-B sastava $x_f=0.4$ kmolA/kmol(A+B). U destilatu se nalazi 97 mol% benzola a u ostatku 98 mol% toluola. Molske mase benzola i toluola iznose $M_A=78$ kg/kmol, $M_B=92$ kg/kmol, odrediti:

- molske protoke destilata i ostatka
- odrediti broj podova u koloni za slu-aj da kolona radi sa totalnim refluksom
- minimalni refluksni odnos (R_{min}), ako je sirovina na ulazu u kolonu te~nost $t_f=20^\circ\text{C}$, $c_f=1840$ J/kgK, integralna toplota isparavanja $r=32320$ kJ/kmol a temperatura klju~anja 95°C

Ravnote`a u sistemu defini{e se tabelom:

x	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
y*	0	0.23	0.38	0.5	0.61	0.7	0.78	0.86	0.92	0.97	1

pri ~emu je : x kmolA/kmol(A+B), y^* kmolA/kmol(A+B)

re{enje: $G_d=20.8$ kmol/h, $G_w=31.3$ kmol/h, $n_t=7.7$, $R_{min}=1.36$

5.10. U kontinualnoj koloni za rektifikaciju obavlja se proces razdvajanja binarne mešavine, koju čine lakše isparljiva komponenta (A) i teže isparljiva komponenta (B), sastava $x_f=0.3$ kmolA/kmol(A+B). Sastav destilata iznosi $x_d=0.9$ kmolA/kmol(A+B). Relativna isparljivost mešavine iznosi $\alpha=2$. Odrediti minimalni refluksni odnos (R_{\min}), ako je napojna smeša:

- a) ključala tečnost ($q=1$)
 b) suva para ($q=0$)

$$\alpha=2 \Rightarrow y^* = \frac{2 \cdot x}{1+x} \Rightarrow x = \frac{y^*}{2-y^*}$$

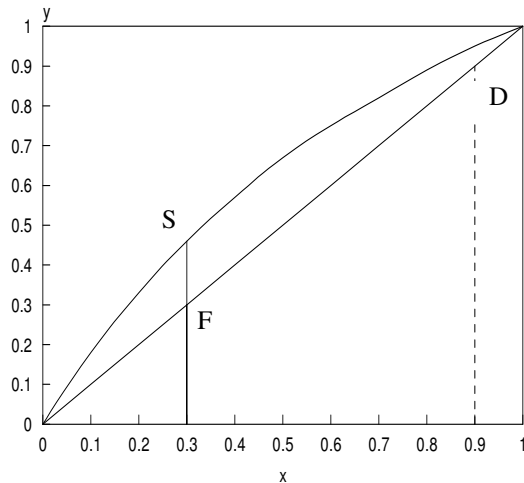
a)

$$x_d = 0.9 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmol(A+B)}}$$

$$x_s = x_f = 0.3 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmol(A+B)}}$$

$$y_s = \frac{2 \cdot x_s}{1+x_s} = \frac{2 \cdot 0.3}{1+0.3} = 0.46$$

$$R_{\min} = \frac{x_d - y_s}{y_s - x_s} = \frac{0.9 - 0.46}{0.46 - 0.3} = 2.71$$



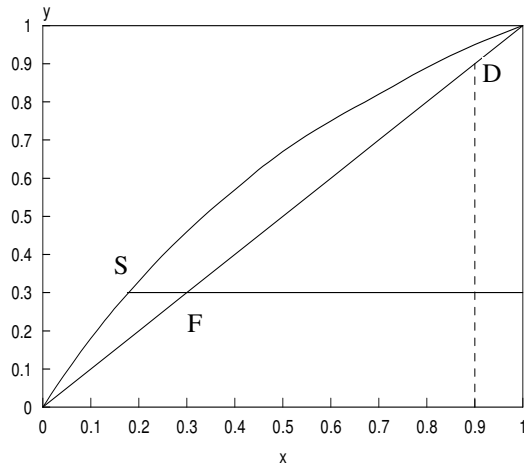
b)

$$x_d = 0.9 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmol(A+B)}}$$

$$y_s = x_s = x_f = 0.3 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmol(A+B)}}$$

$$x_s = \frac{y_s}{2-y_s} = \frac{0.3}{2-0.3} = 0.176$$

$$R_{\min} = \frac{x_d - y_s}{y_s - x_s} = \frac{0.9 - 0.3}{0.3 - 0.176} = 4.86$$



5.11. Rektifikacijom $G_f=360$ kmol/h sme{e koja sadr`i $x_f=0.3$ kmolA/kmol(A+B) dobija se destilat sastava $x_d=0.65$ kmolA/kmol(A+B), pri ~emu se u destilatu nalazi 95% od ukupne koli~ine komponente A koja se unosi u kolonu. Odrediti molarni protok te~ne i parne faze u koloni ja~anja, ako kolona radi sa minimalnim refluksnim odnosom i a ako se ravnote`a defini`e relativnom isparljivo }u $\alpha=3$ i to za slu~aj da napojna sme{a ulazi u kolonu kao:

- a) klju~ala te~nost ($q=1$)
 b) suva para ($q=0$)

$$\text{uslov zadatka:} \quad G_d \cdot x_d = 0.95 \cdot G_f \cdot x_f \quad \Rightarrow \quad G_d = \frac{0.95 \cdot G_f \cdot x_f}{x_d}$$

$$\Rightarrow \quad G_d = \frac{0.95 \cdot 360 \cdot 0.3}{0.65} = 157.85 \frac{\text{kmol}}{\text{h}}$$

$$\alpha=3 \quad \Rightarrow \quad y^* = \frac{3 \cdot x}{1 + 2 \cdot x}$$

a)

$$x_d = 0.65 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmol(A+B)}} \quad x_s = x_f = 0.3 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmol(A+B)}}$$

$$y_s = \frac{3 \cdot x_s}{1 + 2 \cdot x_s} = \frac{3 \cdot 0.3}{1 + 2 \cdot 0.3} = 0.5625 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmol(A+B)}}$$

$$R_{\min} = \frac{x_d - y_s}{y_s - x_s} = \frac{0.65 - 0.5625}{0.5625 - 0.3} = 0.33$$

$$[L']_{\min} = R_{\min} \cdot G_d = 0.33 \cdot 157.85 = 52.09 \frac{\text{kmol}}{\text{h}}$$

$$[G']_{\min} = G_p = [L']_{\min} + G_d = 52.09 + 157.85 = 209.94 \frac{\text{kmol}}{\text{h}}$$

b)

$$x_d = 0.65 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmol(A+B)}} \quad y_s = x_s = x_f = 0.3 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmol(A+B)}}$$

$$x_s = \frac{y_s}{3 - 2 \cdot y_s} = \frac{0.3}{3 - 2 \cdot 0.3} = 0.125$$

$$R_{\min} = \frac{x_d - y_s}{y_s - x_s} = \frac{0.65 - 0.3}{0.3 - 0.125} = 2$$

$$[L']_{\min} = R_{\min} \cdot G_d = 2 \cdot 157.85 = 315.7 \frac{\text{kmol}}{\text{h}}$$

$$[G']_{\min} = G_p = [L']_{\min} + G_d = 315.7 + 157.85 = 473.55 \frac{\text{kmol}}{\text{h}}$$

5.12. U kontinualnoj rektifikacionoj koloni obavlja se proces razdvajanja idealne dvokomponentne mešavine (A+B), A je lakše isparljiva komponenta. Jedna~ina gornje radne prave glasi: $y = 0.75 \cdot x + 0.2$, dok jedna~ina donje radne prave glasi: $y = 1.25 \cdot x - 0.05$. Relativna isparljivost mešavine iznosi $\alpha=2$, a napojna smeša se uvodi u kolonu kao ključala tečnost ($q=1$). Odrediti:

- a) molske udele komponente A u destilatu (x_d), ostatku (x_w) i napojnoj smeši (x_f)
 b) teorijski broj podova u koloni

a)

$$x_d=?$$

$$\frac{R}{R+1}=0.75 \quad \Rightarrow \quad R=\frac{0.75}{1-0.75}=3$$

$$\frac{1}{R+1} \cdot x_d=0.2 \quad \Rightarrow \quad x_d=0.2 \cdot (R+1)=0.2 \cdot 4=0.8 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmol(A+B)}}$$

$$x_w=?$$

$$\frac{R+f}{R+1}=1.25 \quad \Rightarrow \quad f=1.25 \cdot (R+1)-R=1.25 \cdot (3+1)-3=2$$

$$\frac{f-1}{R+1} \cdot x_w=0.05 \quad \Rightarrow \quad x_w=\frac{0.05 \cdot (R+1)}{f-1}=\frac{0.05 \cdot (3+1)}{2-1}=0.2$$

$$x_f=?$$

Prese~na ta~ka GRP i DRP le`i na q liniji. Obzirom da je $q=1$ (q linija vertikalna!) x koordinata prese~ne ta~ke GRP i DRP ima}e istu vrednost kao x_f .

$$y = 0.75 \cdot x + 0.2 \quad (\text{GRP})$$

$$y = 1.25 \cdot x - 0.05 \quad (\text{DRP})$$

Rešavanjem prethodnog sistema (dve jedna~ine sa dve nepoznate) dobija se:

$$x=0.5 = x_f \frac{\text{kmolA}}{\text{kmol(A+B)}}$$

$$y=0.575 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmol(A+B)}}$$

b)

$$\alpha = 2 \Rightarrow y^* = \frac{2 \cdot x}{1 + x} \Rightarrow x = \frac{y^*}{2 - y^*}$$

1. stavi se x_d u GRP: $y_1 = 0.75 \cdot 0.8 + 0.2 = 0.8 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmol(A + B)}}$

vрати se $y=0.8$ u ravnote`nu liniju: $x_1 = \frac{y^*}{2 - y^*} = \frac{0.8}{2 - 0.8} = 0.67 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmol(A + B)}}$

uporedi se izra~unato x sa x_f : $x > x_f$ (prvi pod)

2. stavi se $x=0.67$ u GRP: $y_2 = 0.75 \cdot 0.67 + 0.2 = 0.7 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmol(A + B)}}$

vрати se $y=0.7$ u ravnote`nu liniju: $x_2 = \frac{y^*}{2 - y^*} = \frac{0.7}{2 - 0.7} = 0.54 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmol(A + B)}}$

uporedi se izra~unato x sa x_f : $x > x_f$ (drugi pod)

3. stavi se $x=0.54$ u GRP: $y_3 = 0.75 \cdot 0.54 + 0.2 = 0.61 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmol(A + B)}}$

vрати se $y=0.61$ u ravnote`nu liniju: $x_3 = \frac{y^*}{2 - y^*} = \frac{0.61}{2 - 0.61} = 0.43 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmol(A + B)}}$

uporedi se izra~unato x sa x_f : $x < x_f$ (tre}i napojni pod)

4. stavi se $x=0.43$ u DRP: $y_4 = 1.25 \cdot 0.43 - 0.05 = 0.49 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmol(A + B)}}$

vрати se $y=0.49$ u ravnote`nu liniju: $x_4 = \frac{y^*}{2 - y^*} = \frac{0.49}{2 - 0.49} = 0.32 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmol(A + B)}}$

uporedi se izra~unato x sa x_w : $x > x_w$ (~etvrti pod)

5. stavi se $x=0.32$ u DRP: $y_4 = 1.25 \cdot 0.32 - 0.05 = 0.35 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmol(A + B)}}$

vрати se $y=0.35$ u ravnote`nu liniju: $x_4 = \frac{y^*}{2 - y^*} = \frac{0.35}{2 - 0.35} = 0.21 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmol(A + B)}}$

uporedi se izra~unato x sa x_w : $x > x_w$ (peti pod)

6. stavi se $x=0.21$ u DRP: $y_4 = 1.25 \cdot 0.21 - 0.05 = 0.21 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmol(A + B)}}$

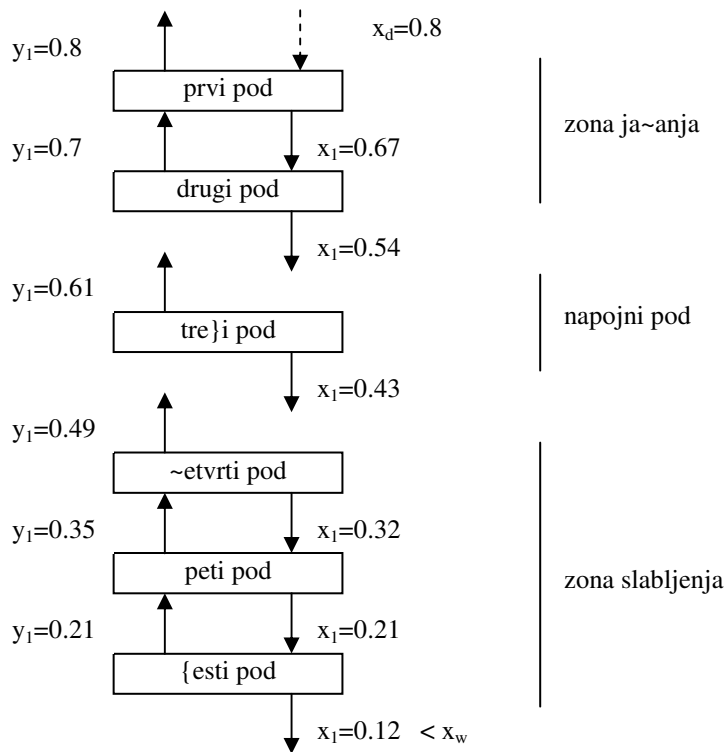
vрати se $y=0.21$ u ravnote`nu liniju: $x_4 = \frac{y^*}{2 - y^*} = \frac{0.21}{2 - 0.21} = 0.12 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmol(A + B)}}$

uporedi se izra~unato x sa x_w : $x < x_w$ ({esti poslednji pod})

$$\text{broj teorijskih podova: } n_t = 5 + \frac{x_5 - x_w}{x_5 - x_6} = 5 + \frac{0.21 - 0.2}{0.21 - 0.12} = 5.11$$

napomena:

Vrednosti za x i y dobijene prethodno navedenim postupkom ("stavi se ... vrati se ...") predstavljaju molske udele komponente A u fazama koje napu{taju dati pod. Tako je npr. $x_2=0.54$ molski udeo komponente A u te~noj fazi (L) koja napu{ta drugi pod, a $y_2=0.7$ molski udeo komponente A u parnoj fazi (G) koja napu{ta drugi pod.



5.13. U kontinualnoj rektifikacionoj koloni obavlja se proces razdvajanja idealne dvokomponentne me{avine (A+B, A je lak{e isparljiva komponenta). Sirovina je me{avina pare i te{nosti stepena suvo)e $\psi=0.45$, sastava $x_f=0.35 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmol(A+B)}}$. Molski udeo lak{e isparljive komponente u destilatu je

$$x_d=0.93 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmol(A+B)}}, \text{ pri } \sim\text{emu se } 80\% \text{ komponente A koja se unosi u kolonu nalazi u destilatu.}$$

Relativna isparljivost me{avine pri radnim uslovima iznosi $\alpha=2$. Odrediti:

- minimalni refluksni odnos
- broj teorijski podova kada bi kolona radila sa totalnim refluksom

$$\alpha=2 \Rightarrow y^* = \frac{2 \cdot x}{1+x} \Rightarrow x = \frac{y^*}{2-y^*}$$

a)

$$\psi=0.45 \Rightarrow q=1-\psi=0.55$$

$$\text{jedna~ina q linije: } y = \frac{q}{q-1} \cdot x - \frac{1}{q-1} \cdot x_f$$

$$y = \frac{0.55}{0.55-1} \cdot x - \frac{1}{0.55-1} \cdot 0.35 \quad y = -1.22 \cdot x + 0.78$$

Prese~na ta~ka q linije i ravnote`ne linije defini{e polo`aj ta~ke $S(x_s, y_s)$, i odrekuje se kao re{enje sistema dve jedna~ine sa dve nepoznate:

$$y = -1.22 \cdot x + 0.78 \quad (\text{jedna~ina q linije})$$

$$y^* = \frac{2 \cdot x}{1+x} \quad (\text{jedna~ina ravnote`ne linije})$$

$$x=x_s=0.279 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmol(A+B)}}, \quad y_s=0.436 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmol(A+B)}}$$

$$R_{\min} = \frac{x_d - y_s}{y_s - x_s} = \frac{0.93 - 0.436}{0.436 - 0.279} = 3.15$$

b)

$$\text{Uslov zadatka: } 0.8 \cdot G_f \cdot x_f = G_d \cdot x_d \Rightarrow \frac{G_f}{G_d} = 1.25 \cdot \frac{x_d}{x_f} \quad (1)$$

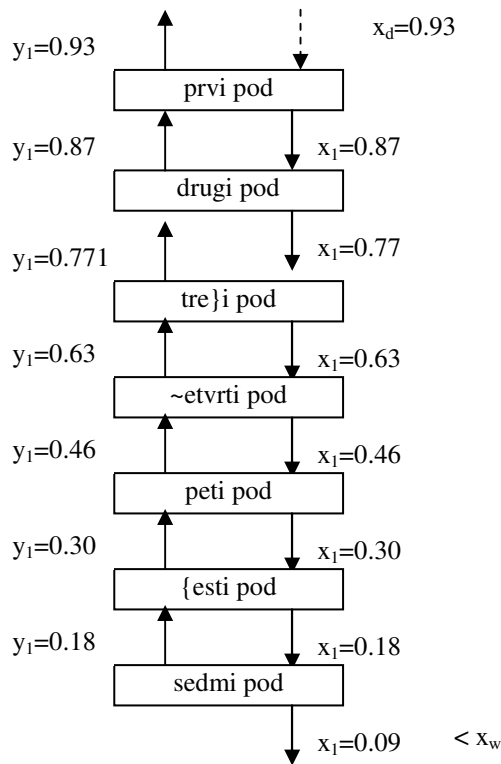
$$\text{Bilansne jedna~ine za rektifikacionu kolonu } \Rightarrow \frac{G_f}{G_d} = \frac{x_d - x_w}{x_f - x_w} \quad (2)$$

$$\text{Kombinovanjem jedna~ina (1) i (2) dobija se } x_w = 0.1 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmol(A+B)}}$$

1. stavi se $x_d=0.9$ u jedna~inu dijagonale ($y=x$): $y_1=0.93 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmol(A+B)}}$
 vrati se $y=0.93$ u ravnote`nu liniju: $x_1 = \frac{y^*}{2-y^*} = \frac{0.93}{2-0.93} = 0.87 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmol(A+B)}}$
 uporedi se izra~unato x sa x_w : $x > x_w$ (prvi pod)
2. stavi se $x=0.87$ u jedna~inu dijagonale: $y_2=0.87 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmol(A+B)}}$
 vrati se $y=0.87$ u ravnote`nu liniju: $x_2 = \frac{y^*}{2-y^*} = \frac{0.87}{2-0.87} = 0.77 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmol(A+B)}}$
 uporedi se izra~unato x sa x_w : $x > x_w$ (drugi pod)
3. stavi se $x=0.77$ u jedna~inu dijagonale: $y_3=0.77 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmol(A+B)}}$
 vrati se $y=0.77$ u ravnote`nu liniju: $x_3 = \frac{y^*}{2-y^*} = \frac{0.77}{2-0.77} = 0.63 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmol(A+B)}}$
 uporedi se izra~unato x sa x_w : $x > x_w$ (tre}i pod)
4. stavi se $x=0.63$ u jedna~inu dijagonale: $y_4=0.63 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmol(A+B)}}$
 vrati se $y=0.63$ u ravnote`nu liniju: $x_4 = \frac{y^*}{2-y^*} = \frac{0.63}{2-0.63} = 0.46 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmol(A+B)}}$
 uporedi se izra~unato x sa x_w : $x > x_w$ (~etvrti pod)
5. stavi se $x=0.46$ u jedna~inu dijagonale: $y_5=0.46 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmol(A+B)}}$
 vrati se $y=0.46$ u ravnote`nu liniju: $x_5 = \frac{y^*}{2-y^*} = \frac{0.46}{2-0.46} = 0.30 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmol(A+B)}}$
 uporedi se izra~unato x sa x_w : $x > x_w$ (peti pod)

6. stavi se $x=0.30$ u jedna~inu dijagonale: $y_6=0.30 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmol(A+B)}}$
 vrati se $y=0.30$ u ravnote`nu liniju: $x_6 = \frac{y^*}{2-y^*} = \frac{0.30}{2-0.30} = 0.18 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmol(A+B)}}$
 uporedi se izra~unato x sa x_w : $x > x_w$ (esti pod)

7. stavi se $x=0.18$ u jedna~inu dijagonale: $y_7=0.18 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmol(A+B)}}$
 vrati se $y=0.18$ u ravnote`nu liniju: $x_7 = \frac{y^*}{2-y^*} = \frac{0.18}{2-0.18} = 0.09 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmol(A+B)}}$
 uporedi se izra~unato x sa x_w : $x < x_w$ (sedmi poslednji pod)



zadaci za ve`banje: (5.14. -- 5.15.)

5.14. U kontinualnoj rektifikacionoj koloni sa $n_{st}=30$ podova razdvaja se sme{a komponenata A i B, relativne isparljivosti $\alpha=2$, tako da se vrhu kolone dobija 2000 kmol/h proizvoda sa 85 mol% komponente A pri refluksnom odnosu dva puta ve}em od minimalnog. Napojna sme{a $G_f=5000$ kmol/h, sa 40 mol% komponente A, uvodi se u kolonu kao te~nost temperature $t_f=60^\circ\text{C}$. Fizi~ki parametri napojne sme{e su $c_f=1.46$ kJ/kgK, $r_f=188.4$ kJ/kg, $t_{kij}=78^\circ\text{C}$. Odrediti efikasnost kolone.

re{enje: $\varepsilon=0.17$ (17%)

5.15. U kontinualnoj rektifikacionoj koloni razdvaja se dvokomponentna me{avina (A+B) pri ~emu se

dobije destilat sastava $x_d=0.8 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmol(A+B)}}$. Kolona radi sa

minimalnim refluksnim odnosom $R_{min}=1 \frac{\text{kmol}}{\text{kmol}}$. Ravnote`a u sistemu defini{e se jedna~inom

$y^* = -x^2 + 2 \cdot x$ (x i y molski udeli komponente A). Odrediti sastav napojne sme{e (x_f), ako napojna sme{a ulazi u kolonu za rektifikaciju kao:

- klju~ala te~nost
- suvozasijena para
- vla`na para stepena suvo}e $\psi=0.2$

re{enje:

a) $x_f=0.347 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmol(A+B)}}$

b) $x_f=0.573 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmol(A+B)}}$

c) $x_f=0.392 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmol(A+B)}}$

5.16. Razdvajanje etanola (A) i vode (B) iz napojne smeše, sastava $x_f=50 \text{ mol\% A}$, izvodi se procesom diskontinualne rektifikacije u koloni sa $n_{st}=5$ podova. Kolona radi sa konstantnim refluksnim odnosom $R=2.1$. Sastav destilata iznosi $x_d=77 \text{ mol\% (A)}$. Odrediti:

- a) efikasnost kolone
- b) sastav pare i tečnosti na prva dva teorijska poda kolone

Ravnoteža u sistemu definiše se tabelom:

x	0	0.09	0.26	0.33	0.39	0.5	0.57	0.67	0.75	0.89	1
y*	0	0.43	0.56	0.59	0.61	0.65	0.68	0.73	0.79	0.89	1

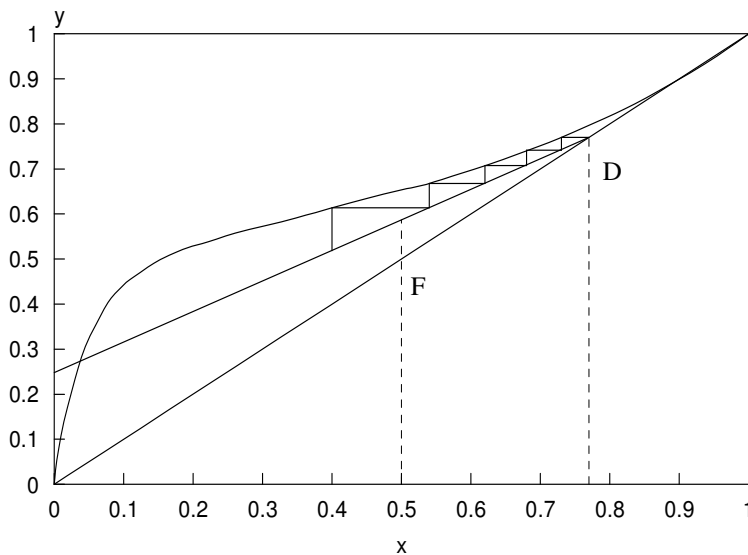
primenjuje se: x kmolA/kmol(A+B), y^* kmolA/kmol(A+B)

a)

$$\text{GRP: } y = \frac{R}{R+1} \cdot x + \frac{1}{R+1} \cdot x_d$$

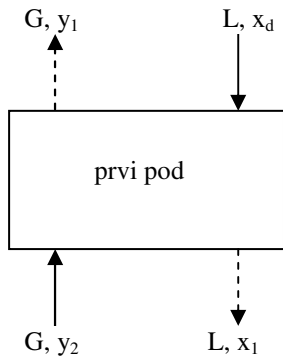
$$y = \frac{2.1}{2.1+1} \cdot x + \frac{1}{2.1+1} \cdot 0.77 \quad \Rightarrow \quad y = 0.677 \cdot x + 0.248$$

Na osnovu ravnotežnih podataka konstruiše se ravnotežni dijagram. Zatim se konstruiše GRP kroz tačku D(x_d, x_d), i odsečak na y-osi $y=0.248$. U crtaju se stepenice između GRP i ravnotežne linije počevši od tačke D(x_d, x_d) zaključujući sa tačkom koja se nalazi na GRP tačno iznad tačke F(x_f, x_f).



$$n_t = 4.3 \quad \Rightarrow \quad \epsilon = \frac{n_t}{n_{st}} = \frac{4.3}{5} = 0.86 \quad (86\%)$$

b)

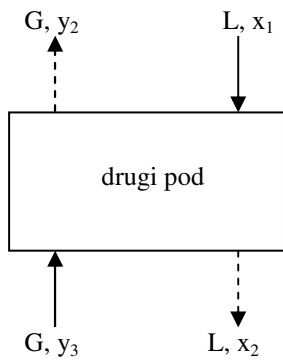
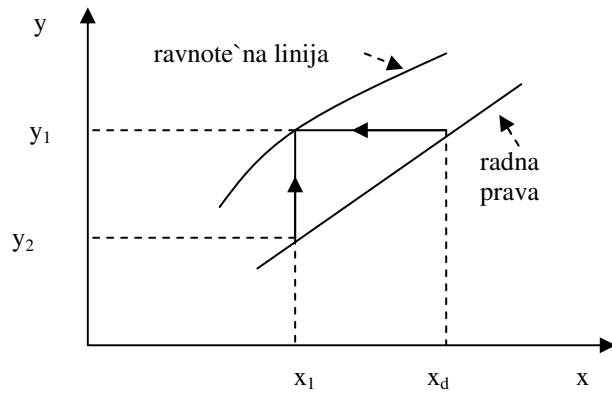


$$x_d = 0.77 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmol(A + B)}}$$

$$x_1 = 0.73 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmol(A + B)}}$$

$$y_1 = 0.77 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmol(A + B)}}$$

$$y_2 = 0.74 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmol(A + B)}}$$

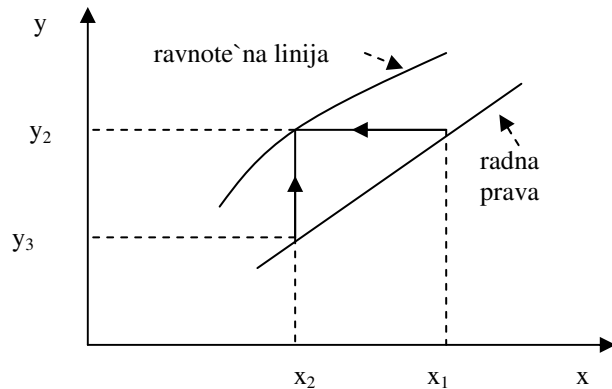


$$x_1 = 0.73 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmol(A + B)}}$$

$$x_2 = 0.68 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmol(A + B)}}$$

$$y_2 = 0.74 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmol(A + B)}}$$

$$y_3 = 0.71 \frac{\text{kmolA}}{\text{kmol(A + B)}}$$



toplotni bilans zagrejava vazduha: $H_{ulaz} + Q_{12} = H_{izlaz}$

$$G_{sv} \cdot h_1 + Q_{zag} = G_{sv} \cdot h_2 \quad \Rightarrow \quad Q_{zag} = G_{sv} \cdot (h_2 - h_1)$$

$$Q_{zag} = \frac{19.77}{3600} \cdot (111.33 - 50.02) = 0.34 \text{ kW}$$

ta-ka 3:

toplotni bilans komore za vlaženje vazduha: $H_{ulaz} + Q_{23} = H_{izlaz}$

$$G_{sv} \cdot h_2 + \dot{m}_{pp} \cdot h_{pp} = G_{sv} \cdot h_3 \quad \Rightarrow \quad h_3 = \frac{G_{sv} \cdot h_2 + \dot{m}_{pp} \cdot h_{pp}}{G_{sv}}$$

$$h_3 = \frac{\frac{19.77}{3600} \cdot 111.33 + \frac{1}{3600} \cdot 2717}{\frac{19.77}{3600}} = 248.76 \frac{\text{kJ}}{\text{kgSV}}$$

materijalni bilans vlage za proces vlaženja vazduha:

$$G_{sv} \cdot \bar{Y}_2 + \dot{m}_{pp} = G_{sv} \cdot \bar{Y}_3 \quad \Rightarrow \quad \bar{Y}_3 = \frac{G_{sv} \cdot \bar{Y}_2 + \dot{m}_{pp}}{G_{sv}}$$

$$\bar{Y}_3 = \frac{19.77 \cdot 0.0118 + 1}{19.77} = 0.0624 \frac{\text{kgH}_2\text{O}}{\text{kgSV}}$$

$$t_3 = \frac{h_3 - \bar{Y}_3 \cdot 2500}{c_p + \bar{Y}_3 \cdot 1.86} = \frac{248.76 - 0.0624 \cdot 2500}{1 + 0.0624 \cdot 1.86} = 83.11^\circ\text{C}$$

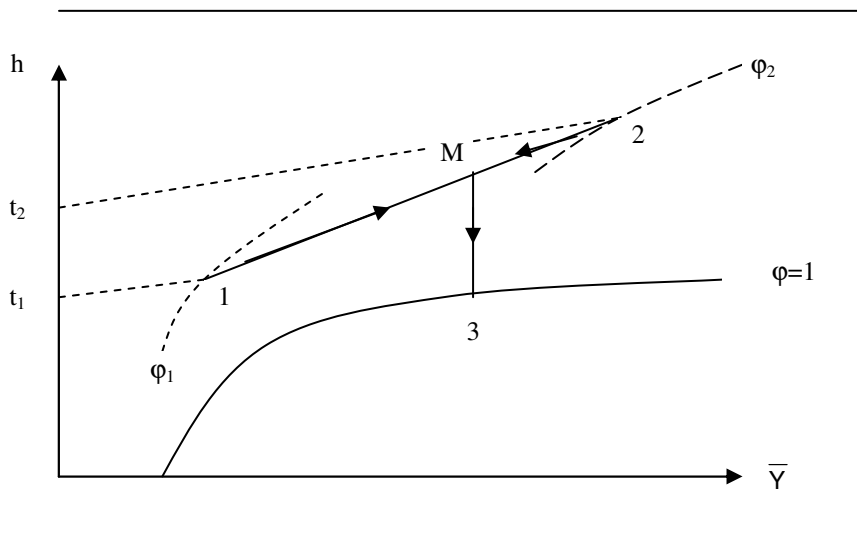
naponena:

$$h_{pp} = 2717 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}, \text{ entalpija pregrejane vodene pare stanja P (p=1 bar, t=120^\circ\text{C})$$

3.2. Struja vla`nog vazduha stanja 1 ($p=1 \text{ bar}$, $t=30 \text{ }^\circ\text{C}$, $\varphi=20\%$, $\dot{V}=15 \frac{\text{m}^3}{\text{min}}$) me{a se adijabatski sa strujom vla`nog vazduha stanja 2 ($p=1 \text{ bar}$, $t=40 \text{ }^\circ\text{C}$, $\varphi=80\%$, $\dot{V}=20 \frac{\text{m}^3}{\text{min}}$). Dobijeni vla`an vazduh stanja

M ($p=1 \text{ bar}$) zatim se hladi do stanja 3 ($p=1 \text{ bar}$, $\varphi=1$). Skicirati promene stanja vla`nog vazduha na Molijerovom $h - \bar{Y}$ dijagramu i odrediti:

- temperaturu (t), apsolutnu vla`nost (\bar{Y}) i entalpiju (h) vla`nog vazduha stanja M
- koli~inu toplote (kW) koja se od vla`nog vazduha odvede za vreme hlalenja (M-3)



ta~ka 1:

$$p^\phi = 4241 \text{ Pa} \quad (\text{napon pare iste vode na } t=30^\circ\text{C})$$

$$p_{\text{H}_2\text{O}} = \varphi \cdot p^\phi = 0.2 \cdot 4241 = 848.2 \text{ Pa}$$

$$\bar{Y}_1 = \frac{M_{\text{H}_2\text{O}}}{M_{\text{SV}}} \cdot \frac{p_{\text{H}_2\text{O}}}{p - p_{\text{H}_2\text{O}}} = \frac{18}{29} \cdot \frac{848.2}{1 \cdot 10^5 - 848.2} = 0.0053 \frac{\text{kgH}_2\text{O}}{\text{kgSV}}$$

$$h_1 = c_p \cdot t + \bar{Y} \cdot (1.86 \cdot t + 2500) = 1 \cdot 30 + 0.0053 \cdot (1.86 \cdot 30 + 2500) = 43.55 \frac{\text{kJ}}{\text{kgSV}}$$

$$p_{\text{sv}} = p - p_{\text{H}_2\text{O}} = 1 \cdot 10^5 - 848.2 = 99151.8 \text{ Pa}$$

$$\rho_{\text{sv}} = \frac{p_{\text{sv}}}{R_{\text{gSV}} \cdot T} = \frac{99151.8}{287 \cdot 303} = 1.14 \frac{\text{kgSV}}{\text{m}^3}, \quad G_{\text{sv1}} = \rho_{\text{sv}} \cdot \dot{V} = 1.14 \cdot \frac{15}{60} = 0.285 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

ta-ka 2:

$$p^\phi = 7375 \text{ Pa} \quad (\text{napon pare iste vode na } t=40^\circ\text{C})$$

$$p_{\text{H}_2\text{O}} = \phi \cdot p^\phi = 0.8 \cdot 7375 = 5900 \text{ Pa}$$

$$\bar{Y}_2 = \frac{M_{\text{H}_2\text{O}}}{M_{\text{SV}}} \cdot \frac{p_{\text{H}_2\text{O}}}{p - p_{\text{H}_2\text{O}}} = \frac{18}{29} \cdot \frac{5900}{1 \cdot 10^5 - 5900} = 0.0389 \frac{\text{kgH}_2\text{O}}{\text{kgSV}}$$

$$h_2 = c_p \cdot t + \bar{Y} \cdot (1.86 \cdot t + 2500) = 1 \cdot 40 + 0.0389 \cdot (1.86 \cdot 40 + 2500) = 140.14 \frac{\text{kJ}}{\text{kgSV}}$$

$$p_{\text{sv}} = p - p_{\text{H}_2\text{O}} = 1 \cdot 10^5 - 5900 = 94100 \text{ Pa}$$

$$\rho_{\text{sv}} = \frac{p_{\text{sv}}}{R_{\text{gSV}} \cdot T} = \frac{94100}{287 \cdot 313} = 1.05 \frac{\text{kgSV}}{\text{m}^3}, \quad G_{\text{sv1}} = \rho_{\text{sv}} \cdot \dot{V} = 1.05 \cdot \frac{20}{60} = 0.35 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

ta-ka M:

toplotni bilans procesa me{anja dva vla`na vazduha: $H_{\text{ulaz}} = H_{\text{izlaz}}$

$$G_{\text{sv1}} \cdot h_1 + G_{\text{sv2}} \cdot h_2 = (G_{\text{sv1}} + G_{\text{sv2}}) \cdot h_m \Rightarrow h_m = \frac{G_{\text{sv1}} \cdot h_1 + G_{\text{sv2}} \cdot h_2}{G_{\text{sv1}} + G_{\text{sv2}}}$$

$$h_m = \frac{0.285 \cdot 43.55 + 0.35 \cdot 140.14}{0.285 + 0.35} = 96.79 \frac{\text{kJ}}{\text{kgSV}}$$

materijalni bilans vlage za proces me{anja dva vla`na vazduha:

$$G_{\text{sv1}} \cdot \bar{Y}_1 + G_{\text{sv2}} \cdot \bar{Y}_2 = (G_{\text{sv1}} + G_{\text{sv2}}) \cdot \bar{Y}_m \Rightarrow \bar{Y}_m = \frac{G_{\text{sv1}} \cdot \bar{Y}_1 + G_{\text{sv2}} \cdot \bar{Y}_2}{G_{\text{sv1}} + G_{\text{sv2}}}$$

$$\bar{Y}_m = \frac{0.285 \cdot 0.0053 + 0.35 \cdot 0.0389}{0.285 + 0.35} = 0.0238 \frac{\text{kgH}_2\text{O}}{\text{kgSV}}$$

$$t_m = \frac{h_m - \bar{Y}_m \cdot 2500}{c_p + \bar{Y}_m \cdot 1.86} = \frac{96.79 - 0.0238 \cdot 2500}{1 + 0.0238 \cdot 1.86} = 35.71^\circ\text{C}$$

ta-ka 3:

$$\bar{Y}_3 = \bar{Y}_m = 0.0238 \frac{\text{kgH}_2\text{O}}{\text{kgSV}}$$

$$p_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{\bar{Y}}{\frac{M_{\text{H}_2\text{O}}}{M_{\text{sv}}} + \bar{Y}} \cdot p = \frac{0.0238}{\frac{18}{29} + 0.0238} \cdot 1 \cdot 10^5 = 3692.8 \text{ Pa}$$

$$p^\phi = \frac{p_{H_2O}}{\phi} = \frac{3692.8}{1} = 3692.8 \text{ Pa}$$

$t_3 \approx 28^\circ\text{C}$ (temperatura zasi) enja vodene pare na $p=3692.8 \text{ Pa}$)

$$h_3 = c_p \cdot t + \bar{Y} \cdot (1.86 \cdot t + 2500) = 1 \cdot 28 + 0.0238 \cdot (1.86 \cdot 28 + 2500) = 88.74 \frac{\text{kJ}}{\text{kgSV}}$$

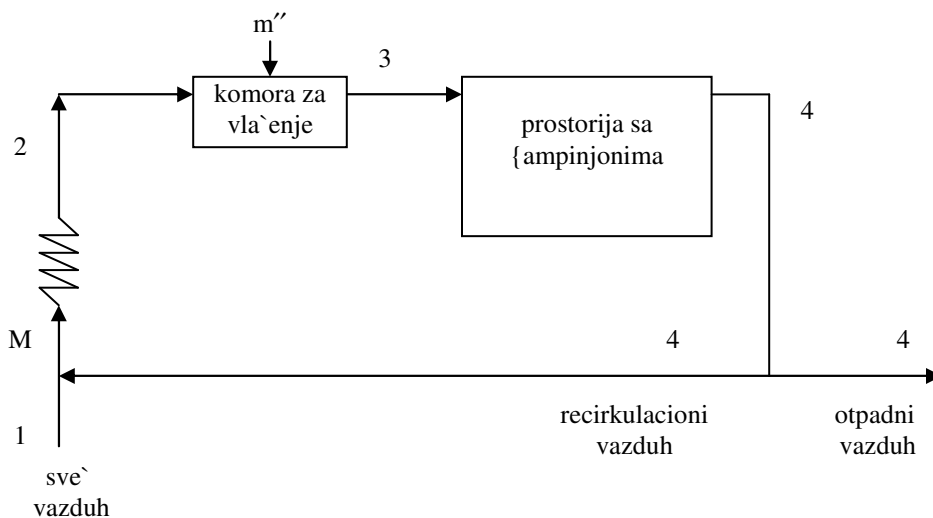
toplotni bilans hladnjaka vazduha: $H_{\text{ulaz}} - Q_{12} = H_{\text{izlaz}}$

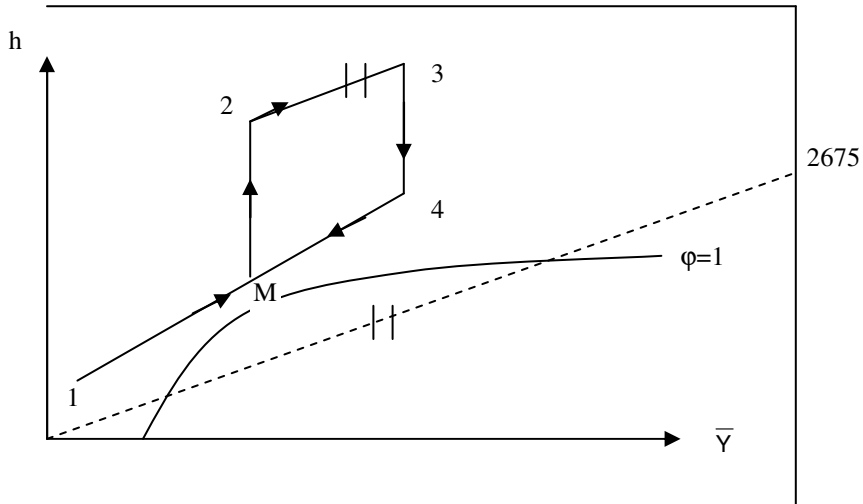
$$(G_{\text{sv1}} + G_{\text{sv2}}) \cdot h_m - Q_{\text{hla}} = (G_{\text{sv1}} + G_{\text{sv2}}) \cdot h_3 \Rightarrow Q_{\text{hla}} = (G_{\text{sv1}} + G_{\text{sv2}}) \cdot (h_m - h_3)$$

$$Q_{\text{hla}} = \frac{0.285 + 0.35}{60} \cdot (96.79 - 88.74) = 85.2 \text{ W}$$

3.3. Za prostoriju u kojoj se gaje {ampinjonima (slika) priprema se $G_3=5000 \text{ kg/h}$ vla`nog vazduha na slede}i na~in: sve` vazduh stanja 1 ($p=1 \text{ bar}$, $t=-10^\circ\text{C}$, $\phi=0.8$) adijabatski se me{a se sa delom iskori}enog vazduha stanja 4 ($p=1 \text{ bar}$, $t=22^\circ\text{C}$, $\phi=0.9$) u odnosu 1:2. Dobijeni vla`an vazduh stanja M ($p=1 \text{ bar}$) se zagreva u zagreja~u do stanja 2 ($p=1 \text{ bar}$, $t=25^\circ\text{C}$) a zatim adijabatski vla`i i uvodjenjem suvozasi}ene vodene pare stanja P ($t=100^\circ\text{C}$) do stanja 3 ($p=1 \text{ bar}$) kada vazduh dosti`e apsolutnu vla`nost otpadnog vazduha. Tako dobijen vazduh se u komori sa {ampinjonima hladi. Skicirati promene stanja vla`nog vazduha na Molijerovom $h - \bar{Y}$ dijagramu i odrediti

- temperaturu vla`nog vazduha stanja M
- temperaturu vla`nog vazduha stanja 3
- toplotnu snagu zagreja~a vazduha (kW)
- potro{nju vodene pare u fazi vla`enja (kg/s)





ta-ka 1:

$$p^\phi = 259.4 \text{ Pa} \quad (\text{napon pare ~iste vode na } t = -10^\circ\text{C})$$

$$p_{\text{H}_2\text{O}} = \phi \cdot p^\phi = 0.8 \cdot 259.4 = 207.5 \text{ Pa}$$

$$\bar{Y}_1 = \frac{M_{\text{H}_2\text{O}}}{M_{\text{SV}}} \cdot \frac{p_{\text{H}_2\text{O}}}{p - p_{\text{H}_2\text{O}}} = \frac{18}{29} \cdot \frac{207.5}{1 \cdot 10^5 - 207.5} = 0.0013 \frac{\text{kgH}_2\text{O}}{\text{kgSV}}$$

$$h_1 = c_p \cdot t + \bar{Y} \cdot (1.86 \cdot t + 2500) = 1 \cdot (-10) + 0.0013 \cdot (1.86 \cdot (-10) + 2500) = -6.77 \frac{\text{kJ}}{\text{kgSV}}$$

ta-ka 4:

$$p^\phi = 2643 \text{ Pa} \quad (\text{napon pare ~iste vode na } t = 22^\circ\text{C})$$

$$p_{\text{H}_2\text{O}} = \phi \cdot p^\phi = 0.9 \cdot 2643 = 2378.7 \text{ Pa}$$

$$\bar{Y}_4 = \frac{M_{\text{H}_2\text{O}}}{M_{\text{SV}}} \cdot \frac{p_{\text{H}_2\text{O}}}{p - p_{\text{H}_2\text{O}}} = \frac{18}{29} \cdot \frac{2378.7}{1 \cdot 10^5 - 2378.7} = 0.0151 \frac{\text{kgH}_2\text{O}}{\text{kgSV}}$$

$$h_4 = c_p \cdot t + \bar{Y} \cdot (1.86 \cdot t + 2500) = 1 \cdot 22 + 0.0151 \cdot (1.86 \cdot 22 + 2500) = 60.37 \frac{\text{kJ}}{\text{kgSV}}$$

ta-ka M:

toplotni bilans procesa me{anja dva vla`na vazduha: $H_{ulaz} = H_{izlaz}$

$$G_{sv1} \cdot h_1 + G_{sv4} \cdot h_4 = (G_{sv1} + G_{sv4}) \cdot h_m \Rightarrow h_m = \frac{G_{sv1} \cdot h_1 + h_4}{\frac{G_{sv1}}{G_{sv4}} + 1}$$

$$h_m = \frac{\frac{1}{2} \cdot (-6.77) + 60.37}{\frac{1}{2} + 1} = 37.99 \frac{\text{kJ}}{\text{kgSV}}$$

materijalni bilans vlage za proces me{anja dva vla`na vazduha:

$$G_{sv1} \cdot \bar{Y}_1 + G_{sv4} \cdot \bar{Y}_4 = (G_{sv1} + G_{sv4}) \cdot \bar{Y}_m \Rightarrow \bar{Y}_m = \frac{G_{sv1} \cdot \bar{Y}_1 + \bar{Y}_4}{\frac{G_{sv1}}{G_{sv4}} + 1}$$

$$\bar{Y}_m = \frac{\frac{1}{2} \cdot 0.0013 + 0.0151}{\frac{1}{2} + 1} = 0.0105 \frac{\text{kgH}_2\text{O}}{\text{kgSV}}$$

$$t_m = \frac{h_m - \bar{Y}_m \cdot 2500}{c_p + \bar{Y}_m \cdot 1.86} = \frac{37.99 - 0.0105 \cdot 2500}{1 + 0.0105 \cdot 1.86} = 11.52^\circ\text{C}$$

napomena: G_{sv4} je oznaka za maseni protok samo recirkulacionog vazduha !!

ta-ka 2:

$$\bar{Y}_2 = \bar{Y}_m = 0.0105 \frac{\text{kgH}_2\text{O}}{\text{kgSV}}$$

$$h_2 = c_p \cdot t + \bar{Y} \cdot (1.86 \cdot t + 2500) = 1 \cdot 25 + 0.0105 \cdot (1.86 \cdot 25 + 2500) = 51.74 \frac{\text{kJ}}{\text{kgSV}}$$

ta-ka 3:

$$\bar{Y}_3 = \bar{Y}_4 = 0.0151 \frac{\text{kgH}_2\text{O}}{\text{kgSV}}$$

$$G_{sv3} = \frac{G_3}{1 + \bar{Y}_3} = \frac{\frac{5000}{3600}}{1 + 0.0151} = 1.38 \frac{\text{kgSV}}{\text{s}}$$

$$G_{sv3} = G_{sv2} = G_{svm} = G_{sv1} + G_{sv4} \quad (1)$$

$$G_{sv1} = \frac{G_{sv4}}{2} \quad (2)$$

Kombinovanjem jednašina (1) i (2) dobija se: $G_{sv1} = 0.46 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$, $G_{sv4} = 0.92 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$

materijalni bilans vlage za proces vlaženja vazduha:

$$(G_{sv1} + G_{sv4}) \cdot \bar{Y}_2 + \dot{m}'' = (G_{sv1} + G_{sv4}) \cdot \bar{Y}_3 \Rightarrow \dot{m}'' = (G_{sv1} + G_{sv4}) \cdot (\bar{Y}_3 - \bar{Y}_2)$$

$$\dot{m}'' = 1.38 \cdot (0.0151 - 0.0105) = 6.35 \cdot 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

toplotni bilans komore za vlaženje vazduha: $H_{ulaz} + Q_{23} = H_{izlaz}$

$$(G_{sv1} + G_{sv4}) \cdot h_2 + \dot{m}'' \cdot h'' = (G_{sv1} + G_{sv4}) \cdot h_3 \Rightarrow h_3 = \frac{(G_{sv1} + G_{sv4}) \cdot h_2 + \dot{m}'' \cdot h''}{G_{sv1} + G_{sv4}}$$

$$h_3 = \frac{1.38 \cdot 51.74 + 6.35 \cdot 10^{-3} \cdot 2675}{1.38} = 64.05 \frac{\text{kJ}}{\text{kgSV}}$$

$$t_3 = \frac{h_3 - \bar{Y}_3 \cdot 2500}{c_p + \bar{Y}_3 \cdot 1.86} = \frac{64.05 - 0.0151 \cdot 2500}{1 + 0.0151 \cdot 1.86} = 25.58^\circ\text{C}$$

naponena:

$$h'' = 2675 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}, \text{ entalpija suvozasijene vodene pare stanja P}(t=100^\circ\text{C})$$

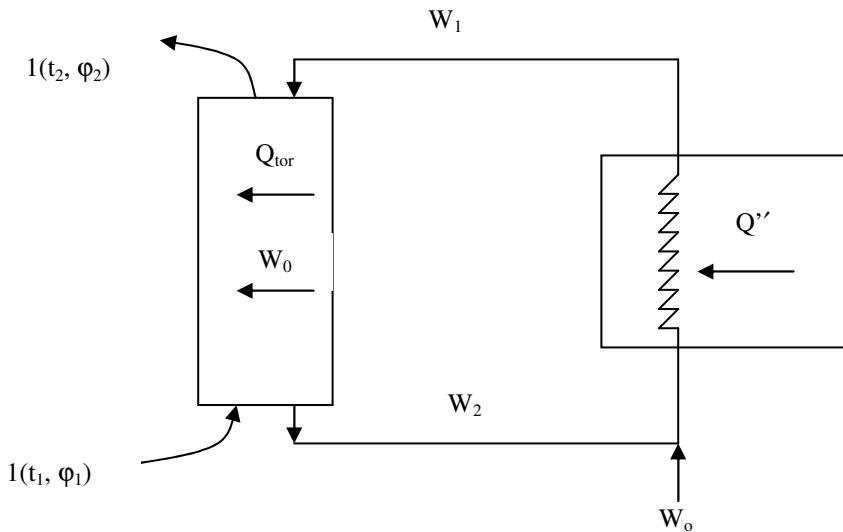
toplotni bilans zagrejanja vazduha: $H_{ulaz} + Q_{m2} = H_{izlaz}$

$$(G_{sv1} + G_{sv4}) \cdot h_m + Q_{zag} = (G_{sv1} + G_{sv4}) \cdot h_2 \Rightarrow Q_{zag} = (G_{sv1} + G_{sv4}) \cdot (h_2 - h_m)$$

$$Q_{zag} = 1.38 \cdot (51.74 - 37.99) = 18.98 \text{ kW}$$

3.4. U adijabatski izolovanom rashladnom tornju, za potrebe hladjenja neke prostorije, hladi se voda W_1 ($p=1$ bar, $t_{w1}=57^\circ\text{C}$) isparavanjem u struji vazduha, koji je na ulazu u toranj definisan stanjem 1 ($p=1$ bar, $t=22^\circ\text{C}$, $\varphi=0.2$) a na izlazu iz tornja definisan stanjem 2 ($p=1$ bar, $t=27^\circ\text{C}$, $\varphi=0.9$). Protok suvog vazduha kroz toranj iznosi 8.5 kg/s. Ohladjena voda iz tornja W_2 ($p=1$ bar, $t_{w2}=22$ C), se me{a sa sve`om vodom W_0 ($p=1$ bar, $t_{w0}=16^\circ\text{C}$) da bi se nadoknadila isparena koli~ina vode i ponovo odvodi u prostoriju koju treba ohladiti. Odrediti:

- potro{nju sve`e vode (W_0)
- razmenjenu toplotu u tornju (kW)
- protoke tople (W_1) i ohladjene vode (W_2)
- koli~inu toplote koju prostorija koja se hladi predaje vodi, Q' (kW)



vla`an vazduh:

ta~ka 1:

$$p^\phi = 2643 \text{ Pa} \quad (\text{napon pare ~iste vode na } t=22^\circ\text{C})$$

$$p_{\text{H}_2\text{O}} = \varphi \cdot p^\phi = 0.2 \cdot 2643 = 528.6 \text{ Pa}$$

$$\bar{Y}_1 = \frac{M_{\text{H}_2\text{O}}}{M_{\text{SV}}} \cdot \frac{p_{\text{H}_2\text{O}}}{p - p_{\text{H}_2\text{O}}} = \frac{18}{29} \cdot \frac{528.6}{1 \cdot 10^5 - 528.6} = 0.0033 \frac{\text{kgH}_2\text{O}}{\text{kgSV}}$$

$$h_1 = c_p \cdot t + \bar{Y} \cdot (1.86 \cdot t + 2500) = 1 \cdot 22 + 0.0033 \cdot (1.86 \cdot 22 + 2500) = 30.37 \frac{\text{kJ}}{\text{kgSV}}$$

ta-ka 2:

$$p^\phi = 3564 \text{ Pa} \quad (\text{napon pare iste vode na } t=27^\circ\text{C})$$

$$p_{\text{H}_2\text{O}} = \phi \cdot p^\phi = 0.9 \cdot 3564 = 3207.6 \text{ Pa}$$

$$\bar{Y}_2 = \frac{M_{\text{H}_2\text{O}}}{M_{\text{SV}}} \cdot \frac{p_{\text{H}_2\text{O}}}{p - p_{\text{H}_2\text{O}}} = \frac{18}{29} \cdot \frac{3207.6}{1 \cdot 10^5 - 3207.6} = 0.0206 \frac{\text{kgH}_2\text{O}}{\text{kgSV}}$$

$$h_2 = c_p \cdot t + \bar{Y} \cdot (1.86 \cdot t + 2500) = 1 \cdot 27 + 0.0206 \cdot (1.86 \cdot 27 + 2500) = 79.53 \frac{\text{kJ}}{\text{kgSV}}$$

voda:

$$h_{w1} = 238.26 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \quad \text{entalpija vode } p=1 \text{ bar, } t=57^\circ\text{C}$$

$$h_{w2} = 91.96 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \quad \text{entalpija vode } p=1 \text{ bar, } t=22^\circ\text{C}$$

$$h_{w0} = 66.88 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \quad \text{entalpija vode } p=1 \text{ bar, } t=16^\circ\text{C}$$

materijalni bilans vlage za proces vla`enja vazduah u tornju:

$$\dot{W}_1 + G_{\text{SV}} \cdot \bar{Y}_1 = \dot{W}_2 + G_{\text{SV}} \cdot \bar{Y}_2 \quad \Rightarrow \quad \dot{W}_1 - \dot{W}_2 = G_{\text{SV}} \cdot (\bar{Y}_2 - \bar{Y}_1) = \dot{W}_o$$

$$\dot{W}_o = G_{\text{SV}} \cdot (\bar{Y}_2 - \bar{Y}_1) = 8.5 \cdot (0.0206 - 0.0033) = 0.147 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

toplotni bilans tornja:

$$-\Delta H_{\text{voda}} = \Delta H_{\text{vazduh}} \Rightarrow \quad \dot{W}_1 \cdot h_{w1} + G_{\text{SV}} \cdot h_1 = \dot{W}_2 \cdot h_{w2} + G_{\text{SV}} \cdot h_2$$

$$\dot{Q}_{\text{tor}} = \dot{W}_1 \cdot h_{w1} - \dot{W}_2 \cdot h_{w2} = G_{\text{SV}} \cdot (h_2 - h_1)$$

$$\dot{Q}_{\text{tor}} = G_{\text{SV}} \cdot (h_2 - h_1) = 8.5 \cdot (79.53 - 30.57) = 417.86 \text{ kW}$$

$$\dot{W}_o = \dot{W}_1 - \dot{W}_2 \quad (1)$$

$$\dot{Q}_{\text{tor}} = \dot{W}_1 \cdot h_{w1} - \dot{W}_2 \cdot h_{w2} \quad (2)$$

$$\text{Kombinovanjem jedna~ina (1) i (2) dobija se: } \dot{W}_1 = 2.758 \frac{\text{kg}}{\text{s}}, \dot{W}_2 = 2.758 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$\dot{Q}' = \dot{W}_1 \cdot h_{w1} - \dot{W}_2 \cdot h_{w2} - \dot{W}_o \cdot h_{w0}$$

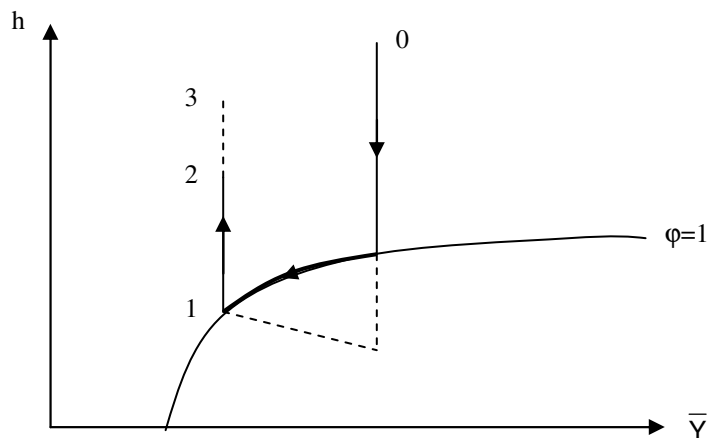
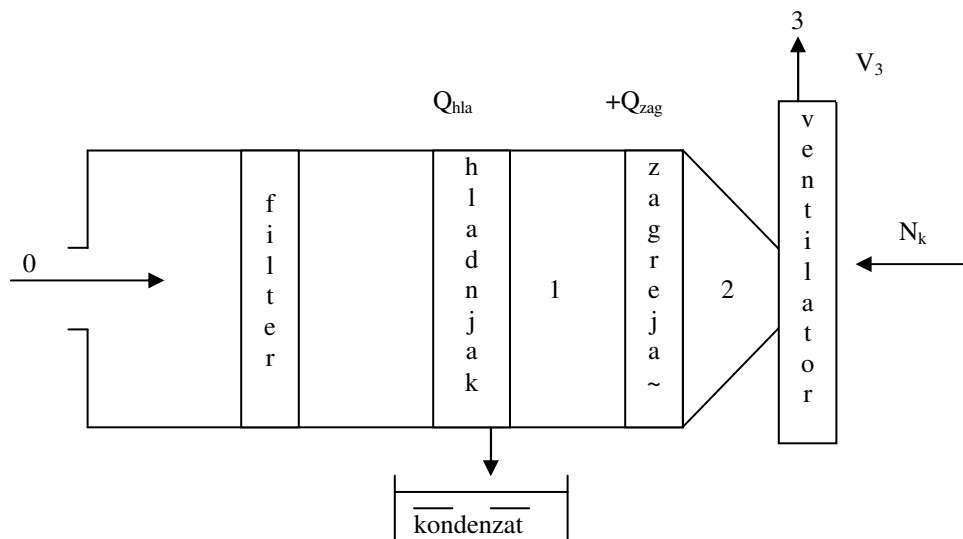
$$\dot{Q}' = 2.758 \cdot 238.26 - 2.611 \cdot 91.96 - 0.147 \cdot 66.88 = 407.18 \text{ kW}$$

3.5. Za klimatizaciju nekog objekta potrebno je obezbediti vla`an vazduh stanja

3 ($p=0.12 \text{ MPa}$, $t=22^\circ\text{C}$, $\phi=50\%$, $\dot{V}=0.4 \text{ m}^3/\text{s}$). U tu svrhu koristi se uređaj koji se sastoji iz filtera, hladnjaka, zagreja~a vazduha i ventilatora-duvaljke, (slika). Snaga ventilatora koji adijabatski sabija vazduh sa pritiska $p_2 (=p_1=p_o)$ na pritisak p_3 je $N_k=1.4 \text{ kW}$. Stanje okolnog nezasi`enog vla`nog vazduha je

O($p_0=0.1 \text{ MPa}$, $t_0=30^\circ\text{C}$, $\varphi=50\%$). Prikazati proces pripreme vla`nog vazduha na Molijerovom h - \bar{Y} dijagramu i odrediti:

- koli~inu izdvojenog kondenzata (kg/h)
- toplotnu snagu hladnjaka vazduha, Q_{hla} (kW)
- toplotnu snagu zagreja~a vazduha, Q_{zag} (kW)



ta~ka 3:

$$p^\phi = 2643 \text{ Pa} \quad (\text{napon pare vode na } t=22^\circ\text{C})$$

$$p_{\text{H}_2\text{O}} = \varphi \cdot p^\phi = 0.5 \cdot 2643 = 1321.5 \text{ Pa}$$

$$\bar{Y}_3 = \frac{M_{\text{H}_2\text{O}}}{M_{\text{SV}}} \cdot \frac{p_{\text{H}_2\text{O}}}{p - p_{\text{H}_2\text{O}}} = \frac{18}{29} \cdot \frac{1321.5}{1.2 \cdot 10^5 - 1321.5} = 0.0069 \frac{\text{kgH}_2\text{O}}{\text{kgSV}}$$

$$h_3 = c_p \cdot t + \bar{Y} \cdot (1.86 \cdot t + 2500) = 1 \cdot 22 + 0.0069 \cdot (1.86 \cdot 22 + 2500) = 39.53 \frac{\text{kJ}}{\text{kgSV}}$$

$$p_{\text{sv}} = p - p_{\text{H}_2\text{O}} = 1.2 \cdot 10^5 - 1321.5 = 118678.5 \text{ Pa}$$

$$\rho_{\text{sv}} = \frac{p_{\text{sv}}}{R_{\text{gSV}} \cdot T} = \frac{118678.5}{287 \cdot 295} = 1.40 \frac{\text{kgSV}}{\text{m}^3}, \quad G_{\text{sv}} = \rho_{\text{sv}} \cdot \dot{V} = 1.40 \cdot 0.4 = 0.56 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

ta~ka 2:

$$\bar{Y}_2 = \bar{Y}_3 = 0.0069 \frac{\text{kgH}_2\text{O}}{\text{kgSV}}$$

$$N_k = G_{\text{sv}} \cdot (h_3 - h_2) \Rightarrow h_2 = h_3 - \frac{N_k}{G_{\text{sv}}} = 39.53 - \frac{1.4}{0.56} = 37.03 \frac{\text{kJ}}{\text{kgSV}}$$

ta~ka 1:

$$\bar{Y}_1 = \bar{Y}_2 = 0.0069 \frac{\text{kgH}_2\text{O}}{\text{kgSV}}$$

$$p_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{\bar{Y}}{\frac{M_{\text{SV}}}{M_{\text{H}_2\text{O}}} + \bar{Y}} \cdot p_1 = \frac{0.0069}{\frac{18}{29} + 0.0069} \cdot 1 \cdot 10^5 = 1099.4 \text{ Pa}$$

$$p^\phi = \frac{p_{\text{H}_2\text{O}}}{\varphi} = \frac{1099.4}{1} = 1099.4 \text{ Pa}$$

$$t_1 = 8.5^\circ\text{C} \quad (\text{temperatura ključanja vode na } p=1099.4 \text{ bar})$$

$$h_1 = c_p \cdot t + \bar{Y} \cdot (1.86 \cdot t + 2500) = 1 \cdot 8.5 + 0.0069 \cdot (1.86 \cdot 8.5 + 2500) = 25.86 \frac{\text{kJ}}{\text{kgSV}}$$

ta~ka 0:

$$p^\phi = 4241 \text{ Pa} \quad (\text{napon pare vode na } t=30^\circ\text{C})$$

$$p_{\text{H}_2\text{O}} = \varphi \cdot p^\phi = 0.5 \cdot 4241 = 2120.5 \text{ Pa}$$

$$\bar{Y}_0 = \frac{M_{\text{H}_2\text{O}}}{M_{\text{SV}}} \cdot \frac{p_{\text{H}_2\text{O}}}{p - p_{\text{H}_2\text{O}}} = \frac{18}{29} \cdot \frac{2120.5}{1 \cdot 10^5 - 2120.5} = 0.0134 \frac{\text{kgH}_2\text{O}}{\text{kgSV}}$$

$$h_0 = c_p \cdot t + \bar{Y} \cdot (1.86 \cdot t + 2500) = 1 \cdot 30 + 0.0134 \cdot (1.86 \cdot 30 + 2500) = 64.25 \frac{\text{kJ}}{\text{kgSV}}$$

$$\text{količina izdvojenog kondenzata:} \quad W_k = G_{\text{sv}} \cdot (\bar{Y}_1 - \bar{Y}_2)$$

$$W_k = 0.56 \cdot (0.0134 - 0.0069) \cdot 3600 = 13.10 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

toplotni bilans hladnjaka: $H_{ulaz} - Q_{01} = H_{izlaz}$

$$G_{sv} \cdot h_o - Q_{hla} = G_{sv} \cdot h_1 + W_k \cdot h_k \quad \Rightarrow \quad Q_{hla} = G_{sv} \cdot (h_o - h_1) - W_k \cdot h_k$$

$$Q_{hla} = 0.56 \cdot (64.25 - 25.86) - \frac{13.10}{3600} \cdot 35.53 = 21.37 \text{ kW}$$

napomena: h_k – entalpija kondenzata (voda p=1 bar, t=8.5°C)

toplotni bilans zagreja~a vazduha: $H_{ulaz} + Q_{12} = H_{izlaz}$

$$G_{sv} \cdot h_1 + Q_{zag} = G_{sv} \cdot h_2 \quad \Rightarrow \quad Q_{zag} = G_{sv} \cdot (h_2 - h_1)$$

$$Q_{zag} = 0.56 \cdot (37.03 - 25.86) = 6.26 \text{ kW}$$

zadaci za ve`banje: (3.6.–3.7.)

3.6. Za pripremu vla`nog vazduha stanja 4 (p=1 bar, t=36°C, φ=0.3) koristi se sve` vazduh stanja 1 (p=1 bar, t=10°C, φ=0.8). Sve` vazduh se najpre zagreva u zagreja~u do stanja 2 (p=1 bar), a onda adijabatski vla`i ubrizgavanjem vode W (p=1 bar, t_w=50°C) dok ne postane zasi}en (p=1 bar, φ=1). Na kraju se vazduh dogreva u dogreja~u. Potro{nja vode u fazi vla`enja vazduha iznosi 60 kg/h. Skicirati promene stanja vla`nog vazduha na Molijerovom h – \bar{Y} dijagramu i odrediti:

- stanje vla`nog vazduha na ulazu u dogreja~ 3 (h, \bar{Y} , t)
- toplotne snage zagreja~a i dogreja~a (kW)

re{enje:

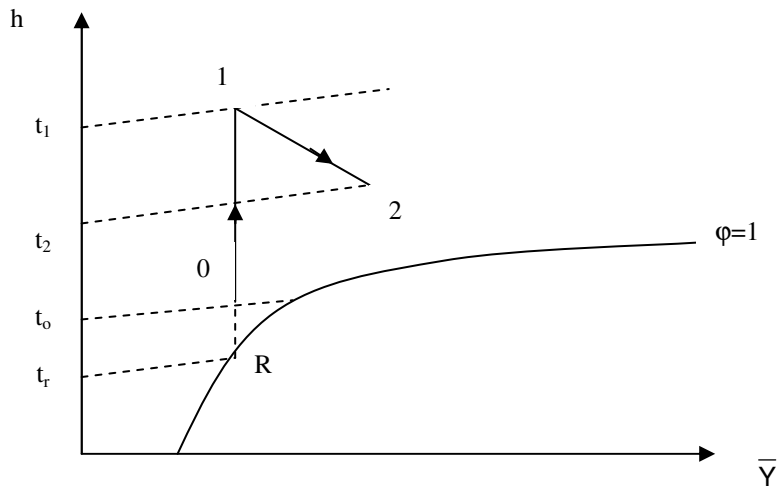
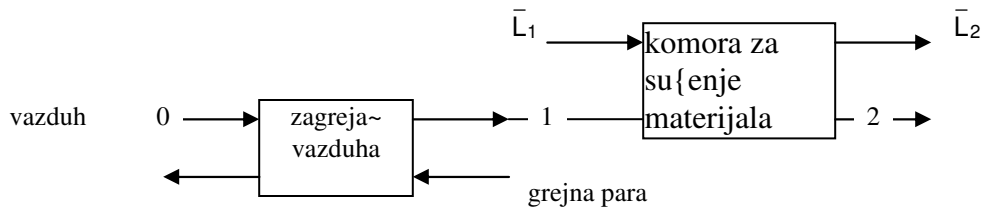
- $h_3 = 44.5 \frac{\text{kJ}}{\text{kgSV}}$, $\bar{Y}_3 = 0.0113 \frac{\text{kgH}_2\text{O}}{\text{kgSV}}$, $t_3 = 16^\circ\text{C}$
- $Q_{zag} = 58.3 \text{ kW}$, $Q_{hla} = 65.8 \text{ kW}$

3.7. 10 (1+x) kg/h vla`nog vazduha stanja 1 (p=1 bar, t=60°C, p_{H_2O}=0.01 bar) adijabatski se vla`i vodenom parom stanja P (p=1 bar, t=160°C). Temperatura vla`nog vazduha nakon vla`enja je 64.4°C. Ra~unskim putem (ne koriste}i Molijerov h – \bar{Y} dijagram) odrediti apsolutnu vla`nost vazduha stanja 2 (\bar{Y}_2) kao i koli~inu dodate vodene pare (kg/h)

re{enje: $\bar{Y}_2 = 0.0327 \frac{\text{kgH}_2\text{O}}{\text{kgSV}}$, W=0.26 kg/h

3.8. ^asovni kapacitet teorijske tunelske teorijske su{are iznosi $\bar{L}_2 = 150 \text{ kg}$ suvih banana. Vla`nost sirovih banana (maseni udeo vlage) je $\bar{x}_1 = 70 \text{ mas}\%$ a suvih $\bar{x}_2 = 12 \text{ mas}\%$. Temperatura vazduha na izlazu iz su{are je 40°C a maksimalna temperatura vazduha u su{ari 85°C. Atmosferski vazduh ima temperaturu od 18°C i ta~ku rose 12°C. Skicirati promene stanja vla`nog vazduha na Molijerovom h – \bar{Y} dijagramu i odrediti:

- potro{nju grejne pare u zagreja~u vazduha (suvozasi}ena vodena para) ako joj je temperatura za 20 K vi{a od maksimalne temperature vazduha u su{ari (smatrati da je kondenzat grejne pare na izlazu iz zagreja~a vazduha neprehlalen)
- povr{inu zagreja~a vazduha ako koeficijent prolaza toplote sa grejne pare na vazduh iznosi $k = 33 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$



napomena:

Teorijski uslovi su{enja (adijabatska su{ara) podrazumevaju:

0-1: $\bar{Y} = \text{const}$

1-2: $h = \text{const}$

ta~ka R:

$$\bar{Y}_R = f(t_r, \phi_R=1) = 0.0088 \frac{\text{kgH}_2\text{O}}{\text{kgSV}}$$

ta~ka 0:

$$\bar{Y}_o = \bar{Y}_R = 0.0088 \frac{\text{kgH}_2\text{O}}{\text{kgSV}} \quad h_o = f(t_o, \bar{Y}_o) = 40.3 \frac{\text{kJ}}{\text{kgSV}}$$

ta~ka 1:

$$\bar{Y}_1 = \bar{Y}_o = \bar{Y}_R = 0.0088 \frac{\text{kgH}_2\text{O}}{\text{kgSV}} \quad h_1 = f(t_1, \bar{Y}_1) = 108.4 \frac{\text{kJ}}{\text{kgSV}}$$

ta~ka 2:

$$h_2 = h_1 = 108.4 \frac{\text{kJ}}{\text{kgSV}} \quad \bar{Y}_2 = f(t_2, h_2) = 0.0265 \frac{\text{kgH}_2\text{O}}{\text{kgSV}}$$

napomena: Sve vrednosti pro~itane sa Molijerovog h - \bar{Y} dijagrama

a)

materijalni bilans vlage za proces su{enja banana:

$$G_{sv} \cdot (\bar{Y}_2 - \bar{Y}_1) = \bar{L}_2 \cdot \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{1 - \bar{x}_1} \Rightarrow G_{sv} = \bar{L}_2 \cdot \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{1 - \bar{x}_1} \cdot \frac{1}{\bar{Y}_2 - \bar{Y}_1}$$

$$G_{sv} = \frac{150}{3600} \cdot \frac{0.7 - 0.12}{1 - 0.7} \cdot \frac{1}{0.0265 - 0.0088} = 4.55 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

toplotni bilans zagreja~a vazduha: $-\Delta H_{para} = \Delta H_{vazduh} = Q_{zag}$

$$\dot{m}_p \cdot r = G_{sv} \cdot (h_1 - h_o) \Rightarrow \dot{m}_p = \frac{G_{sv} \cdot (h_1 - h_o)}{r}$$

$$\dot{m}_p = \frac{4.55 \cdot (108.4 - 40.3)}{2243} = 0.14 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

b)

$$Q_{zag} = G_{sv} \cdot (h_1 - h_o) = 4.55 \cdot (108.4 - 40.3) = 309.85 \text{ kW}$$

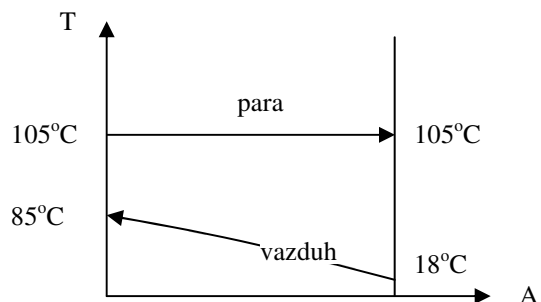
$$\Delta T_{sr} = ?$$

$$\Delta T_{max} = 87^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_{min} = 20^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_{sr} = \frac{87 - 20}{\ln \frac{87}{20}} = 45.6^\circ\text{C}$$

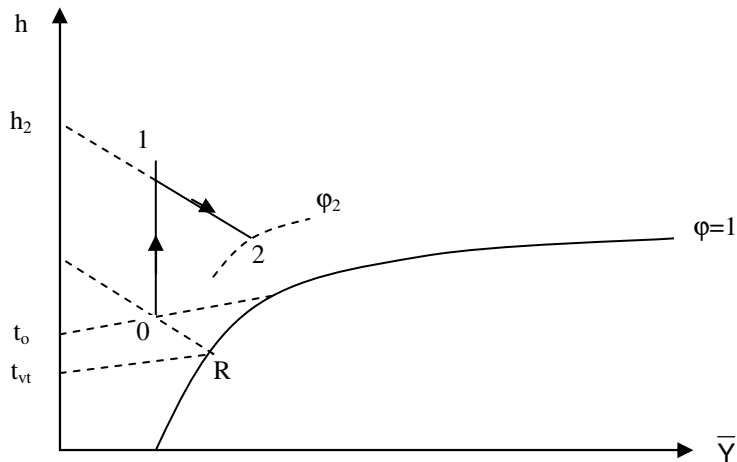
$$A = \frac{Q_{zag}}{k \cdot \Delta T_{sr}} = \frac{309.85}{33 \cdot 10^{-3} \cdot 45.6} = 205.9 \text{ m}^2$$



3.9. U teorijskoj su{ari su{i se, pri p=1 bar, $\bar{L}_1=50 \text{ kg/h}$ kva{~eve biomase koja sadr`i $\bar{x}_1=70 \text{ mas\%}$ vlage, pri ~emu se dobija suvi kvasac sa $\bar{x}_2=7 \text{ mas\%}$ vlage. Na ulazu u zagreja~ stanje vazduha odredeno je temperaturom suvog termometra i temperaturom vla`nog termometra $\theta(t_{st}=16^\circ\text{C}$,

$t_{vt}=10^{\circ}\text{C}$). Stanje otpadnog vazduha određeno je entalpijom i relativnom vlažnosti vazduha 2 ($h=90$ kJ/kgSV, $\varphi=0.6$). Skicirati promene stanja vlažnog vazduha na Molijerovom $h - \bar{Y}$ dijagramu i odrediti:

- potrošnju suvog vazduha u sušari (m^3/s)
- toplotnu snagu zagrevača vazduha (kW)
- koliko bi se toplote moglo uštedeti hlalenjem otpadnog vazduha do stanja zasićenja i rekuperativnim korišćenjem oslobolene toplote za zagrevanje svežeg vazduha u predgrevaču (kW)



tačka 0:

$$h_0 = 29.52 \frac{\text{kJ}}{\text{kgSV}},$$

$$\bar{Y}_0 = 0.0057 \frac{\text{kgH}_2\text{O}}{\text{kgSV}}$$

tačka 2:

$$h_2 = 90 \frac{\text{kJ}}{\text{kgSV}},$$

$$\bar{Y}_2 = 0.0215 \frac{\text{kgH}_2\text{O}}{\text{kgSV}}$$

tačka 1:

$$h_1 = h_2 = 90 \frac{\text{kJ}}{\text{kgSV}},$$

$$\bar{Y}_1 = \bar{Y}_0 = 0.0057 \frac{\text{kgH}_2\text{O}}{\text{kgSV}}$$

napomena: Sve vrednosti pročitane sa Molijerovog $h - \bar{Y}$ dijagrama

a)

materijalni bilans vlage za proces sušenja kvašenve biomase:

$$G_{sv} \cdot (\bar{Y}_2 - \bar{Y}_1) = \bar{L}_1 \cdot \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{1 - \bar{x}_2} \Rightarrow G_{sv} = \bar{L}_1 \cdot \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{1 - \bar{x}_2} \cdot \frac{1}{\bar{Y}_2 - \bar{Y}_1}$$

$$G_{sv} = \frac{50}{3600} \cdot \frac{0.7 - 0.07}{1 - 0.07} \cdot \frac{1}{0.0215 - 0.0057} = 0.6 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$Vn_{sv} = G_{sv} \cdot \frac{22.4}{M_{sv}} = 0.6 \cdot \frac{22.4}{29} = 0.46 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

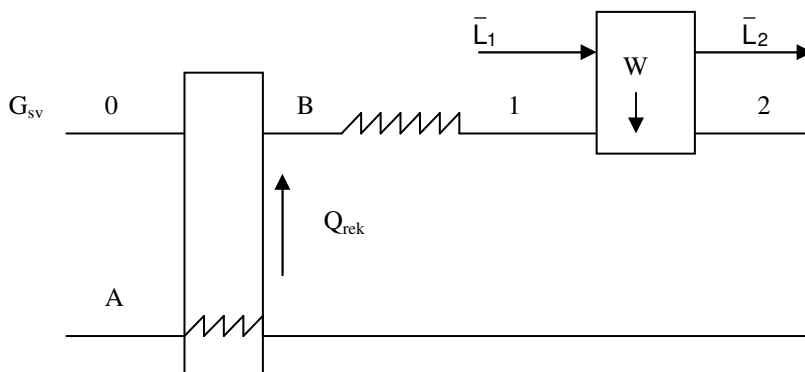
b)

toplotni bilans zagrejanja vazduha: $H_{ulaz} + Q_{o1} = H_{izlaz}$

$$G_{sv} \cdot h_o + Q_{zag} = G_{sv} \cdot h_1 \Rightarrow Q_{zag} = G_{sv} \cdot (h_1 - h_o)$$

$$Q_{zag} = 0.6 \cdot (90 - 29.52) = 36.29 \text{ kW}$$

c)



toplotni bilans predgrejanja vazduha: $-\Delta H_{para} = \Delta H_{vazduh} = Q_{rek}$

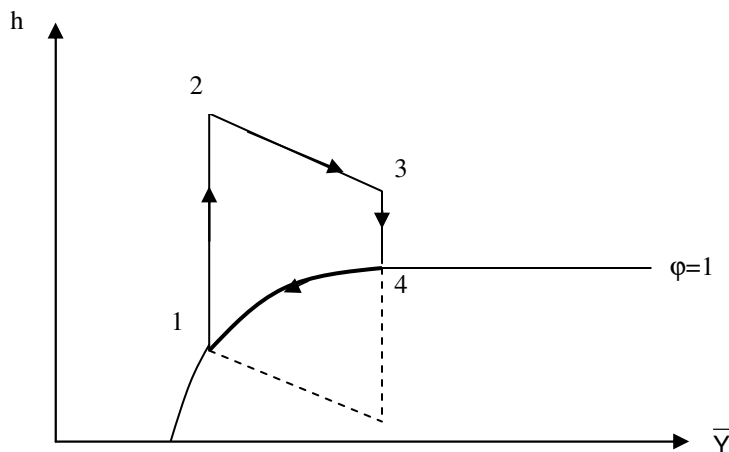
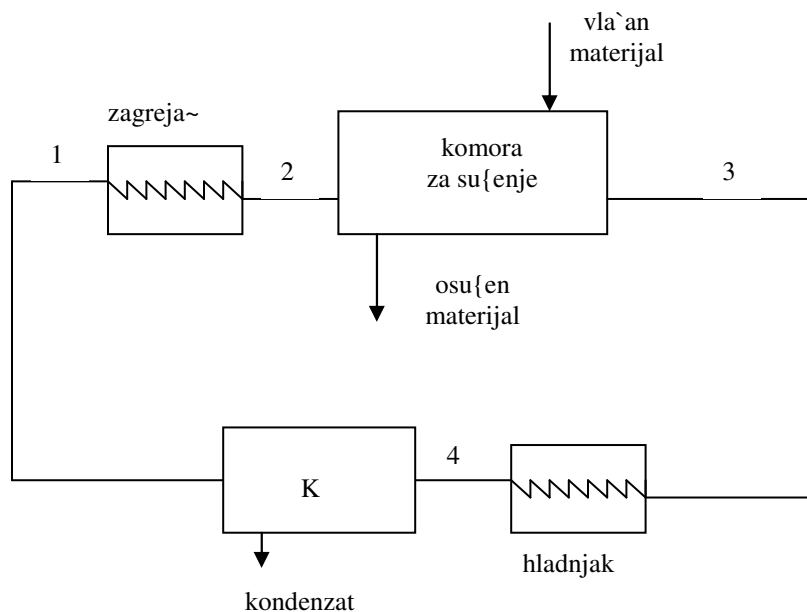
$$G_{sv} \cdot (h_B - h_o) = G_{sv} \cdot (h_2 - h_A) \Rightarrow Q_{rek} = G_{sv} \cdot (h_2 - h_A)$$

$$Q_{rek} = 0.6 \cdot (90 - 81.2) = 5.28 \text{ kW}$$

napomena: $h_A = f(\bar{Y}_A = \bar{Y}_2, \varphi = 1) = 81.2 \frac{\text{kJ}}{\text{kgSV}}$

3.10. Jednostepena, teorijska sušara, radi sa vazduhom kao agensom za sušenje po zatvorenom ciklusu (slika) na pritisku $p=90 \text{ kPa}=\text{const}$. Nakon zagrevanja vazduha (1-2), njegovog prolaska kroz komoru za sušenje 2-3, te hlađenja (3-4), u predajniku toplote, u kome se kondenzuje vodena para, ulazi zasićen vlažan vazduh stanja 4 ($T=313 \text{ K}$), a napušta ga ohladjeni zasićen vlažan vazduh i izdvojeni kondenzat temperature $T_1=293 \text{ K}$. Maseni protok odvedenog kondenzata je $W=0.03 \text{ kg/s}$. Toplotna snaga zagrevanja vazduha je $Q_{\text{zag}}=95 \text{ kW}$. Skicirati promene stanja vlažnog vazduha na Molijerovom

$h-\bar{Y}$ dijagramu i odrediti potreban maseni protok suvog vazduha i relativnu vlažnost (ϕ_3) do koje se, sušenjem vlažnog materijala, ovlaži vazduh.



ta~ka 1:

$$p^\phi = 2337 \text{ Pa} \quad (\text{napon pare iste vode na } t=20^\circ\text{C})$$

$$p_{\text{H}_2\text{O}} = \phi \cdot p^\phi = 1 \cdot 2337 = 2337 \text{ Pa}$$

$$\bar{Y}_1 = \frac{M_{\text{H}_2\text{O}}}{M_{\text{sv}}} \cdot \frac{p_{\text{H}_2\text{O}}}{p - p_{\text{H}_2\text{O}}} = \frac{18}{29} \cdot \frac{2337}{0.9 \cdot 10^5 - 2337} = 0.0165 \frac{\text{kgH}_2\text{O}}{\text{kgSV}}$$

$$h_1 = c_p \cdot t + \bar{Y} \cdot (1.86 \cdot t + 2500) = 1 \cdot 20 + 0.0165 \cdot (1.86 \cdot 20 + 2500) = 61.86 \frac{\text{kJ}}{\text{kgSV}}$$

ta~ka 4:

$$p^\phi = 7375 \text{ Pa} \quad (\text{napon pare iste vode na } t=40^\circ\text{C})$$

$$p_{\text{H}_2\text{O}} = \phi \cdot p^\phi = 1 \cdot 7375 = 7375 \text{ Pa}$$

$$\bar{Y}_4 = \frac{M_{\text{H}_2\text{O}}}{M_{\text{sv}}} \cdot \frac{p_{\text{H}_2\text{O}}}{p - p_{\text{H}_2\text{O}}} = \frac{18}{29} \cdot \frac{7375}{0.9 \cdot 10^5 - 7375} = 0.0554 \frac{\text{kgH}_2\text{O}}{\text{kgSV}}$$

$$h_4 = c_p \cdot t + \bar{Y} \cdot (1.86 \cdot t + 2500) = 1 \cdot 40 + 0.0554 \cdot (1.86 \cdot 40 + 2500) = 182.62 \frac{\text{kJ}}{\text{kgSV}}$$

$$W = G_{\text{sv}} \cdot (\bar{Y}_3 - \bar{Y}_2) = G_{\text{sv}} \cdot (\bar{Y}_4 - \bar{Y}_1) \quad \Rightarrow \quad G_{\text{sv}} = \frac{W}{\bar{Y}_4 - \bar{Y}_1}$$

$$G_{\text{sv}} = \frac{0.03}{0.0554 - 0.0165} = 0.77 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

ta~ka 2:

$$\bar{Y}_2 = \bar{Y}_1 = 0.0165 \frac{\text{kgH}_2\text{O}}{\text{kgSV}} \quad h_2 = ?$$

$$\text{toplotni bilans zagreja~a vazduha: } H_{\text{ulaz}} + Q_{12} = H_{\text{izlaz}}$$

$$G_{\text{sv}} \cdot h_1 + Q_{\text{zag}} = G_{\text{sv}} \cdot h_2 \quad \Rightarrow \quad Q_{\text{zag}} = G_{\text{sv}} \cdot (h_2 - h_1)$$

$$h_2 = h_1 + \frac{Q_{\text{zag}}}{G_{\text{sv}}} = 61.86 + \frac{95}{0.77} = 185.24 \frac{\text{kJ}}{\text{kgSV}}$$

ta~ka 3:

$$\bar{Y}_3 = \bar{Y}_4 = 0.0554 \frac{\text{kgH}_2\text{O}}{\text{kgSV}} \quad h_3 = h_2 = 185.24 \frac{\text{kJ}}{\text{kgSV}}$$

$$t_3 = \frac{h_3 - \bar{Y}_3 \cdot 2500}{c_p + \bar{Y}_3 \cdot 1.86} = \frac{185.24 - 0.0554 \cdot 2500}{1 + 0.0554 \cdot 1.86} = 42.37^\circ\text{C}$$

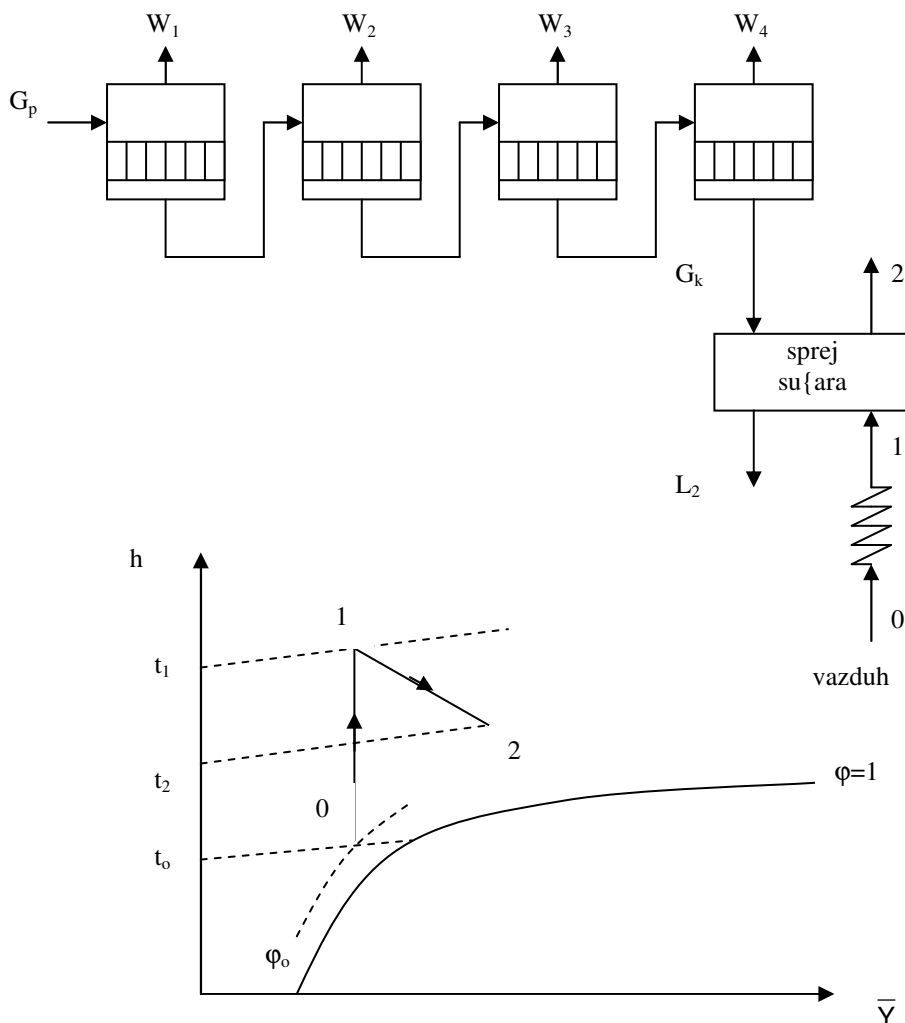
$$p_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{\bar{Y}_3}{\frac{M_{\text{H}_2\text{O}}}{M_{\text{sv}}} + \bar{Y}_3} \cdot p = \frac{0.0554}{\frac{18}{29} + 0.0554} \cdot 0.9 \cdot 10^5 = 7374.8 \text{ Pa}$$

$$\phi_3 = \frac{p_{\text{H}_2\text{O}}}{(p^\phi)_{T_3}} = \frac{7374.8}{8361} = 0.88$$

3.11. Tehnološka linija za proizvodnju praha surutke, kapaciteta $G_p=20$ t/h sirovine, sastoji se iz četvorostepene baterije ukuvača i sprej sušare. Uparavanjem sirove surutke sa $x_p=6$ mas% SM dobije se koncentrat sa $x_k=50$ mas% SM koji sušenjem daje prah sa $\bar{x}_2=4$ mas% vlage. Maksimalna temperatura vazduha u sušari je 170°C a temperatura otpadnog vazduha na izlazu iz sušare je 90°C . Stanje atmosferskog vazduha određeno je sa ($t=20^\circ\text{C}$, $\varphi=0.6$). Sušenje se vrši vazduhom $p=1$ bar, pri teorijskim uslovima. Skicirati promene stanja vlažnog vazduha na Molijerovom

$h - \bar{Y}$ dijagramu i odrediti:

- ukupno odstranjenu količinu vode iz sirove surutke (t/h)
- količinu dobijenog praha (t/h)
- potrošnju suvog vazduha u procesu sušenja (kg/s)
- utrošenu količinu toplote za zagrevanje vazduha za sušenje (kW)



ta~ka 0:

$$p^\phi = 2337 \text{ Pa} \quad (\text{napon pare ~iste vode na } t=20^\circ\text{C})$$

$$p_{\text{H}_2\text{O}} = \phi \cdot p^\phi = 0.6 \cdot 2337 = 1402.2 \text{ Pa}$$

$$\bar{Y}_0 = \frac{M_{\text{H}_2\text{O}}}{M_{\text{SV}}} \cdot \frac{p_{\text{H}_2\text{O}}}{p - p_{\text{H}_2\text{O}}} = \frac{18}{29} \cdot \frac{1402.2}{1 \cdot 10^5 - 1402.2} = 0.0088 \frac{\text{kgH}_2\text{O}}{\text{kgSV}}$$

$$h_0 = c_p \cdot t + \bar{Y} \cdot (1.86 \cdot t + 2500) = 1 \cdot 20 + 0.0088 \cdot (1.86 \cdot 20 + 2500) = 42.33 \frac{\text{kJ}}{\text{kgSV}}$$

ta~ka 1:

$$\bar{Y}_1 = \bar{Y}_0 = 0.0088 \frac{\text{kgH}_2\text{O}}{\text{kgSV}} \quad h_1 = f(t_1, \bar{Y}_1) = 108.4 \frac{\text{kJ}}{\text{kgSV}}$$

$$h_1 = c_p \cdot t + \bar{Y} \cdot (1.86 \cdot t + 2500) = 1 \cdot 170 + 0.0088 \cdot (1.86 \cdot 170 + 2500) = 194.78 \frac{\text{kJ}}{\text{kgSV}}$$

ta~ka 2:

$$h_2 = h_1 = 194.78 \frac{\text{kJ}}{\text{kgSV}}$$

$$\bar{Y}_2 = \frac{h - c_p \cdot t}{1.86 \cdot t + 2500} = \frac{194.78 - 1 \cdot 90}{1.86 \cdot 90 + 2500} = 0.0393 \frac{\text{kgH}_2\text{O}}{\text{kgSV}}$$

a)

materijalni bilans ~etvorostepene ukuva~ke baterije: $G_p = G_k + W_u$ (1)

bilans suve materije ~etvorostepene ukuva~ke baterije: $G_p \cdot x_p = G_k \cdot x_k$ (2)

$$(2) \Rightarrow G_k = \frac{G_p \cdot x_p}{x_k} = \frac{20 \cdot 0.06}{0.5} = 2.4 \frac{\text{t}}{\text{h}}$$

$$(1) \Rightarrow W_u = G_p - G_k = 20 - 2.4 = 17.6 \frac{\text{t}}{\text{h}}$$

materijalni bilans vlage za proces su{enja: $W_s = \bar{L}_1 \cdot \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{1 - \bar{x}_2}$

$$W_s = 2.4 \cdot \frac{0.5 - 0.04}{1 - 0.04} = 1.15 \frac{\text{t}}{\text{h}}$$

$$W = W_u + W_s = 17.6 + 1.15 = 18.75 \frac{\text{t}}{\text{h}}$$

napomene:

1. $W_u = W_1 + W_2 + W_3 + W_4$, vlaga odstranjena iz surutke u prosecu ukuvavanja
2. W_s , vlaga odstranjena iz surutke u prosecu si{enja
3. $G_k = \bar{L}_1$, koncentrat nakon ukuva~ke baterije je vla`an materijal za su{enje
4. $\bar{x}_1 = 1 - x_k = 0.5$ masenu udeo vlage u vla`nom materijalu (\bar{L}_1)

b)

$$\bar{L}_2 = \bar{L}_1 - W_s = 2.4 - 1.15 = 1.25 \frac{\text{t}}{\text{h}}$$

c)

materijalni bilans vlage za proces su{enja:

$$G_{sv} \cdot (\bar{Y}_2 - \bar{Y}_1) = \bar{L}_1 \cdot \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{1 - \bar{x}_2} \Rightarrow G_{sv} = \bar{L}_1 \cdot \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{1 - \bar{x}_2} \cdot \frac{1}{\bar{Y}_2 - \bar{Y}_1}$$

$$G_{sv} = \frac{2.4 \cdot 10^3}{3600} \cdot \frac{0.5 - 0.04}{1 - 0.04} \cdot \frac{1}{0.0393 - 0.0088} = 10.47 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

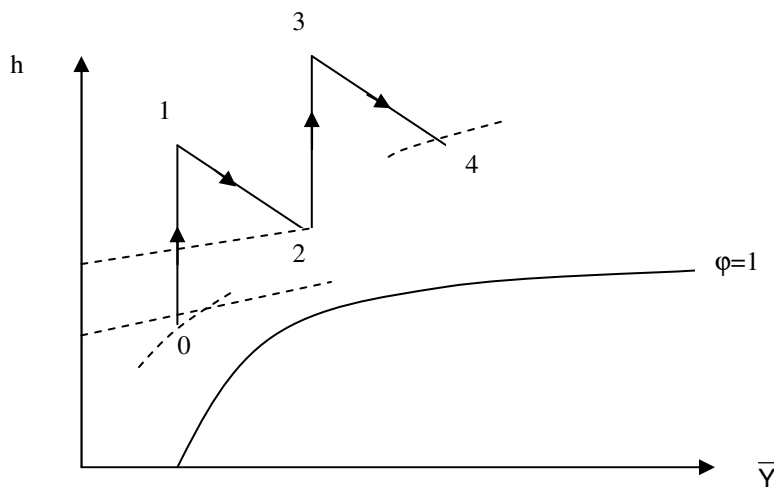
d)

toplotni bilans zagrejava vazduha: $H_{ulaz} + Q_{o1} = H_{izlaz}$

$$G_{sv} \cdot h_o + Q_{zag} = G_{sv} \cdot h_1 \Rightarrow Q_{zag} = G_{sv} \cdot (h_1 - h_o)$$

$$Q_{zag} = 10.47 \cdot (194.78 - 42.33) = 1596.15 \text{ kW}$$

3.12. U dvostepenu teorijsku sušnicu uvodi se vlažan vazduh zapreminskog protoka $V_o = 0.83 \text{ m}^3/\text{s}$ i stanja 0 ($p = 0.1 \text{ MPa}$, $t = 14^\circ\text{C}$, $\phi = 0.4$). Nakon zagrevanja vazduha u zagreju toplotne snage $Q_I = 51.9 \text{ kW}$ (do stanja 1) vazduh se uvodi u prvi stepen sušenja odakle izlazi sa temperaturom $t = 30^\circ\text{C}$ (stanje 2). Ovaj vazduh se zatim zagreva u drugom zagreju toplotne snage $Q_{II} = 24 \text{ kW}$ (do stanja 3), te uvodi u drugi stepen sušenja koji napušta sa relativnom vlažnošću $\phi = 0.8$ (stanje 4). Ako se zanemare padovi pritiska odrediti masu vlage uklonjenu iz vlažnog materijala u prvom i drugom stepenu sušenja (posebno za svaki stepen). Skicirati promene stanja vlažnog vazduha na $h - \bar{Y}$ dijagramu.



ta-ka 0:

$$p^\phi = 1597 \text{ Pa} \quad (\text{napon pare ~iste vode na } t=14^\circ\text{C})$$

$$p_{\text{H}_2\text{O}} = \phi \cdot p^\phi = 0.4 \cdot 1597 = 638.8 \text{ Pa}$$

$$\bar{Y}_o = \frac{M_{\text{H}_2\text{O}}}{M_{\text{SV}}} \cdot \frac{p_{\text{H}_2\text{O}}}{p - p_{\text{H}_2\text{O}}} = \frac{18}{29} \cdot \frac{638.8}{1 \cdot 10^5 - 638.8} = 0.0040 \frac{\text{kgH}_2\text{O}}{\text{kgSV}}$$

$$h_o = c_p \cdot t + \bar{Y} \cdot (1.86 \cdot t + 2500) = 1 \cdot 14 + 0.0040 \cdot (1.86 \cdot 14 + 2500) = 24.1 \frac{\text{kJ}}{\text{kgSV}}$$

$$p_{\text{sv}} = p - p_{\text{H}_2\text{O}} = 1 \cdot 10^5 - 638.8 = 99361.2 \text{ Pa}$$

$$\rho_{\text{sv}} = \frac{p_{\text{sv}}}{R_{\text{gSV}} \cdot T} = \frac{99361.2}{287 \cdot 287} = 1.21 \frac{\text{kgSV}}{\text{m}^3}, \quad G_{\text{sv}} = \rho_{\text{sv}} \cdot \dot{V} = 1.21 \cdot 0.83 = 1 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

ta-ka 1:

$$\bar{Y}_1 = \bar{Y}_o = 0.0040 \frac{\text{kgH}_2\text{O}}{\text{kgSV}} \quad h_2 = ?$$

toplotni bilans I zagreja~a vazduha: $H_{\text{ulaz}} + Q_{o1} = H_{\text{izlaz}}$

$$G_{\text{sv}} \cdot h_o + Q_1 = G_{\text{sv}} \cdot h_1 \quad \Rightarrow \quad Q_1 = G_{\text{sv}} \cdot (h_1 - h_o)$$

$$h_1 = h_o + \frac{Q_1}{G_{\text{sv}}} = 24.1 + \frac{51.9}{1} = 76 \frac{\text{kJ}}{\text{kgSV}}$$

ta-ka 2:

$$h_2 = h_1 = 76 \frac{\text{kJ}}{\text{kgSV}}$$

$$\bar{Y}_2 = \frac{h - c_p \cdot t}{1.86 \cdot t + 2500} = \frac{76 - 1 \cdot 30}{1.86 \cdot 30 + 2500} = 0.018 \frac{\text{kgH}_2\text{O}}{\text{kgSV}}$$

ta-ka 3:

$$\bar{Y}_3 = \bar{Y}_2 = 0.018 \frac{\text{kgH}_2\text{O}}{\text{kgSV}} \quad h_2 = ?$$

toplotni bilans II zagreja~a vazduha: $H_{\text{ulaz}} + Q_{23} = H_{\text{izlaz}}$

$$G_{\text{sv}} \cdot h_2 + Q_{II} = G_{\text{sv}} \cdot h_3 \quad \Rightarrow \quad Q_{II} = G_{\text{sv}} \cdot (h_3 - h_2)$$

$$h_3 = h_2 + \frac{Q_{II}}{G_{\text{sv}}} = 76 + \frac{24}{1} = 100 \frac{\text{kJ}}{\text{kgSV}}$$

ta-ka 4:

$$h_4 = h_3 = 100 \frac{\text{kJ}}{\text{kgSV}}, \quad \bar{Y}_4 = f(\phi_4, h_4) = 0.0263 \frac{\text{kgH}_2\text{O}}{\text{kgSV}} \quad (h - \bar{Y} \text{ dijagram})$$

$$W_1 = G_{\text{sv}} (\bar{Y}_2 - \bar{Y}_1) \cdot \tau = 1 \cdot (0.018 - 0.004) \cdot 3600 = 50.4 \text{ kg}$$

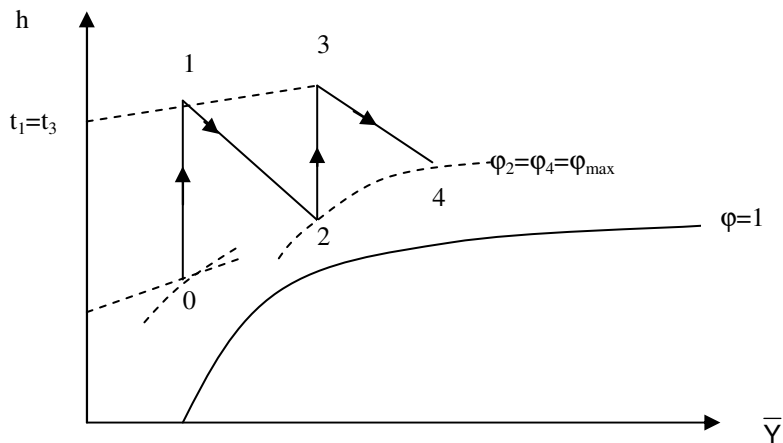
$$W_2 = G_{\text{sv}} (\bar{Y}_4 - \bar{Y}_3) \cdot \tau = 1 \cdot (0.0263 - 0.018) \cdot 3600 = 29.9 \text{ kg}$$

3.13. U teorijskoj konvektivnoj sušari suši se neki materijal koji nesme biti izložen temperaturi višoj od 80°C . Maksimalna relativna vlažnost, koju dostiže vazduh pri svakom prolasku preko vlažnog materijala, iznosi $\phi_{\max}=90\%$. Odrediti količinu vlage, koja se u toku jednog sata odstrani iz materijala, ako je stanje vlažnog vazduha na ulazu u sušaru određeno sa $O(p=1\text{ bar}, t=20^{\circ}\text{C}, \phi=0.5, G_{vv}=0.5\text{ kg/s})$:

- u slučaju dvostepene teorijske sušare
- u slučaju teorijske sušare sa beskonačno mnogo stepeni sušenja (naizmenično povezanih komora za sušenje i zagrevača vazduha)

Smatrati da se tokom svih procesa pritisak vazduha u sušari ne menja i da iznosi $p=1\text{ bar}$

a)



tačka 0:

$$p^{\phi} = 2337\text{ Pa} \quad (\text{napon pare čiste vode na } t=20^{\circ}\text{C})$$

$$p_{\text{H}_2\text{O}} = \phi \cdot p^{\phi} = 0.5 \cdot 2337 = 1168.5\text{ Pa}$$

$$\bar{Y}_0 = \frac{M_{\text{H}_2\text{O}}}{M_{\text{SV}}} \cdot \frac{p_{\text{H}_2\text{O}}}{p - p_{\text{H}_2\text{O}}} = \frac{18}{29} \cdot \frac{1168.5}{1 \cdot 10^5 - 1168.5} = 0.0073 \frac{\text{kgH}_2\text{O}}{\text{kgSV}}$$

$$h_0 = c_p \cdot t + \bar{Y} \cdot (1.86 \cdot t + 2500) = 1 \cdot 20 + 0.0073 \cdot (1.86 \cdot 20 + 2500) = 38.52 \frac{\text{kJ}}{\text{kgSV}}$$

$$G_{\text{sv}} = \frac{G_{\text{vv}}}{1 + \bar{Y}_0} = \frac{0.5}{1 + 0.0073} = 0.496 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

ta-ka 1:

$$\bar{Y}_1 = \bar{Y}_o = 0.0073 \frac{\text{kgH}_2\text{O}}{\text{kgSV}}$$

$$h_1 = c_p \cdot t + \bar{Y} \cdot (1.86 \cdot t + 2500) = 1 \cdot 80 + 0.0073 \cdot (1.86 \cdot 80 + 2500) = 99.34 \frac{\text{kJ}}{\text{kgSV}}$$

ta-ka 2:

$$h_2 = h_1 = 99.34 \frac{\text{kJ}}{\text{kgSV}}$$

$$\bar{Y}_2 = f(\varphi_2, h_2) = 0.0265 \frac{\text{kgH}_2\text{O}}{\text{kgSV}} \quad (\text{h} - \bar{Y} \text{ dijagram})$$

ta-ka 3:

$$\bar{Y}_3 = \bar{Y}_2 = 0.0265 \frac{\text{kgH}_2\text{O}}{\text{kgSV}}$$

$$h_3 = c_p \cdot t + \bar{Y} \cdot (1.86 \cdot t + 2500) = 1 \cdot 80 + 0.0265 \cdot (1.86 \cdot 80 + 2500) = 150.19 \frac{\text{kJ}}{\text{kgSV}}$$

ta-ka 4:

$$h_4 = h_3 = 150.19 \frac{\text{kJ}}{\text{kgSV}}$$

$$\bar{Y}_4 = f(\varphi_4, h_4) = 0.043 \frac{\text{kgH}_2\text{O}}{\text{kgSV}} \quad (\text{h} - \bar{Y} \text{ dijagram})$$

$$W = G_{sv} (\bar{Y}_4 - \bar{Y}_o) \cdot \tau = 0.496 \cdot (0.043 - 0.0073) \cdot 3600 = 63.75 \text{ kg}$$

b)

ta-ka 2n:

$$p^\phi = 47360 \text{ Pa} \quad (\text{napon pare \u0177iste vode na } t=80^\circ\text{C})$$

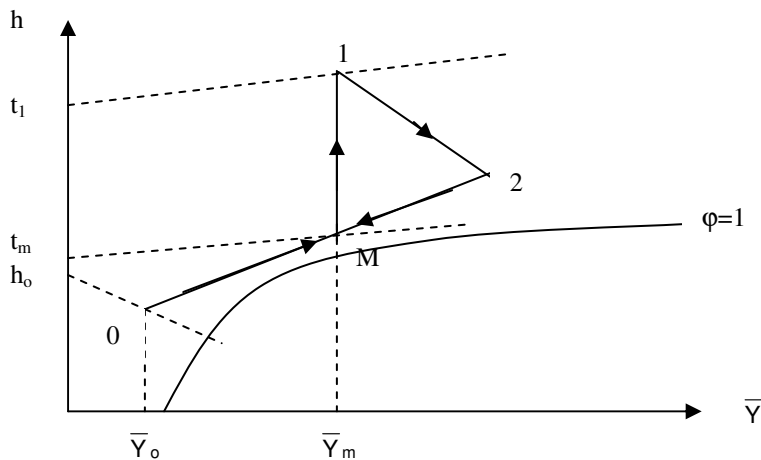
$$p_{\text{H}_2\text{O}} = \varphi_{\text{max}} \cdot p^\phi = 0.9 \cdot 47360 = 42624 \text{ Pa}$$

$$\bar{Y}_{2n} = \frac{M_{\text{H}_2\text{O}}}{M_{\text{SV}}} \cdot \frac{p_{\text{H}_2\text{O}}}{p - p_{\text{H}_2\text{O}}} = \frac{18}{29} \cdot \frac{42624}{1 \cdot 10^5 - 42624} = 0.4611 \frac{\text{kgH}_2\text{O}}{\text{kgSV}}$$

$$W' = G_{sv} (\bar{Y}_{2n} - \bar{Y}_o) \cdot \tau = 0.496 \cdot (0.4611 - 0.0073) \cdot 3600 = 810.3 \text{ kg}$$

3.14. U teorijskoj su{ari sa recirkulacijom, jednog dela iskori{ }enog vazduha, protok atmosferskog vla`nog vazduha, stanja 0 ($h=50 \text{ kJ/kgSV}$, $\bar{Y}=0.01 \text{ kgH}_2\text{O/kgSV}$), iznosi $G_0=6 \text{ t/h}$. Stanje me{avine sve`eg i opticajnog vazduha na ulazu zagreja~ vazduha je M ($t=40^\circ\text{C}$, $\bar{Y}=0.034 \text{ kgH}_2\text{O/kgSV}$). Me{avina se u kaloriferu zagreva do stanja 1 ($t=88^\circ\text{C}$). Po~etna vla`nost materijala je 70% ra~unato na suhu materiju, a krajnja 8% takodje ra~unato na suhu materiju. Skicirati promene stanja vla`nog vazduha na $h - \bar{Y}$ dijagramu i odrediti:

- masene protoke: odstranjene vlage i osu{enog materijala (kg/h)
- maseni udeo sve`eg i opticajnog vazduha u me{avini
- potrebnu koli~inu toplote za zagrevanje vla`nog vazduha (kJ/s)
- kolika bi bila potro{nja toplote da se su{enje izvodi samo sve`im vazduhom tj. da nema recirkulacije i kolika bi bila temperatura vla`nog vazduha na ulazu u komoru za su{enje u tom slu~aju



ta~ka 0:

$$\bar{Y}_0 = 0.01 \frac{\text{kgH}_2\text{O}}{\text{kgSV}} \quad h_0 = 50 \frac{\text{kJ}}{\text{kgSV}}$$

$$G_{\text{svo}} = \frac{G_1}{1 + \bar{Y}_1} = \frac{6 \cdot 10^3}{1 + 0.01} = 1.65 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

ta~ka M:

$$\bar{Y}_m = 0.034 \frac{\text{kgH}_2\text{O}}{\text{kgSV}}$$

$$h_m = c_p \cdot t + \bar{Y} \cdot (1.86 \cdot t + 2500) = 1 \cdot 40 + 0.034 \cdot (1.86 \cdot 40 + 2500) = 127.53 \frac{\text{kJ}}{\text{kgSV}}$$

ta-ka 1:

$$\bar{Y}_1 = \bar{Y}_m = 0.034 \frac{\text{kgH}_2\text{O}}{\text{kgSV}}$$

$$h_1 = c_p \cdot t + \bar{Y} \cdot (1.86 \cdot t + 2500) = 1 \cdot 88 + 0.034 \cdot (1.86 \cdot 88 + 2500) = 178.56 \frac{\text{kJ}}{\text{kgSV}}$$

ta-ka 2:

$$h_2 = h_1 = 178.56 \frac{\text{kJ}}{\text{kgSV}} \quad x_2 = ?$$

toplotni bilans procesa me{anja dva vla`na vazduha:

$$H_{\text{ulaz}} = H_{\text{izlaz}} \quad G_{\text{sv0}} \cdot h_0 + G_{\text{sv2}} \cdot h_2 = (G_{\text{sv0}} + G_{\text{sv2}}) \cdot h_m \Rightarrow G_{\text{sv2}} = \frac{G_{\text{sv0}} \cdot (h_m - h_0)}{h_2 + h_m}$$

$$G_{\text{sv2}} = \frac{1.65 \cdot (127.53 - 50)}{178.56 - 127.53} = 2.51 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

materijalni bilans vlage za proces me{anja dva vla`na vazduha:

$$G_{\text{sv0}} \cdot \bar{Y}_0 + G_{\text{sv2}} \cdot \bar{Y}_2 = (G_{\text{sv0}} + G_{\text{sv2}}) \cdot \bar{Y}_m \Rightarrow \bar{Y}_2 = \frac{(G_{\text{sv0}} + G_{\text{sv2}}) \cdot \bar{Y}_m - G_{\text{sv0}} \cdot \bar{Y}_0}{G_{\text{sv2}}}$$

$$\bar{Y}_2 = \frac{(1.65 + 2.51) \cdot 0.034 - 1.65 \cdot 0.01}{2.51} = 0.0498 \frac{\text{kgH}_2\text{O}}{\text{kgSV}}$$

a)

$$W = (G_{\text{sv0}} + G_{\text{sv2}}) \cdot (\bar{Y}_2 - \bar{Y}_1) = (1.65 + 2.51) \cdot 3600 \cdot (0.0498 - 0.034) = 236.62 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

$$\bar{x}_1 = \frac{\bar{X}_1}{1 + \bar{X}_1} = \frac{0.7}{1 + 0.7} = 0.41, \quad \bar{x}_2 = \frac{\bar{X}_2}{1 + \bar{X}_2} = \frac{0.08}{1 + 0.08} = 0.07$$

$$W = \bar{L}_2 \cdot \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{1 - \bar{x}_1} \Rightarrow \bar{L}_2 = W \cdot \frac{1 - \bar{x}_1}{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}$$

$$\bar{L}_2 = 236.62 \cdot \frac{1 - 0.41}{0.41 - 0.07} = 410.61 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

b)

$$g_0 = \frac{G_{\text{sv0}}}{G_{\text{sv0}} + G_{\text{sv2}}} = \frac{1.65}{1.65 + 2.51} = 0.4, \quad g_2 = \frac{G_{\text{sv2}}}{G_{\text{sv0}} + G_{\text{sv2}}} = \frac{2.51}{1.65 + 2.51} = 0.6$$

c)

toplotni bilans zagreja~a vazduha: $H_{\text{ulaz}} + Q_{\text{ml}} = H_{\text{izlaz}}$

$$(G_{\text{sv0}} + G_{\text{sv2}}) \cdot h_m + Q_{\text{zag}} = (G_{\text{sv0}} + G_{\text{sv2}}) \cdot h_1 \Rightarrow Q_{\text{zag}} = (G_{\text{sv0}} + G_{\text{sv2}}) \cdot (h_1 - h_m)$$

$$Q_{\text{zag}} = (1.65 + 2.51) \cdot (178.56 - 127.53) = 212.28 \text{ kW}$$

ta~ka 0:

$$\bar{Y}_0 = \frac{M_{H_2O}}{M_{SV}} \cdot \frac{p_{H_2O}}{p - p_{H_2O}} = \frac{18}{29} \cdot \frac{1.33}{101.3 - 1.33} = 0.0083 \frac{\text{kgH}_2\text{O}}{\text{kgSV}}$$

ta~ka 2:

$$\bar{Y}_2 = \frac{M_{H_2O}}{M_{SV}} \cdot \frac{p_{H_2O}}{p - p_{H_2O}} = \frac{18}{29} \cdot \frac{26.7}{101.3 - 26.7} = 0.2222 \frac{\text{kgH}_2\text{O}}{\text{kgSV}}$$

ta~ka M:

$$\bar{Y}_m = \frac{M_{H_2O}}{M_{SV}} \cdot \frac{p_{H_2O}}{p - p_{H_2O}} = \frac{18}{29} \cdot \frac{6.7}{101.3 - 6.7} = 0.044 \frac{\text{kgH}_2\text{O}}{\text{kgSV}}$$

ta~ka 1:

$$\bar{Y}_1 = \bar{Y}_m = 0.044 \frac{\text{kgH}_2\text{O}}{\text{kgSV}}$$

a)

materijalni bilans vlage za proces su{enja:

$$(G_{sv0} + G_{sv2}) \cdot (\bar{Y}_2 - \bar{Y}_1) = \bar{L}_1 \cdot \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{1 - \bar{x}_2} \Rightarrow$$

$$G_{sv0} + G_{sv2} = \bar{L}_1 \cdot \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{1 - \bar{x}_2} \cdot \frac{1}{\bar{Y}_2 - \bar{Y}_1}$$

$$G_{sv0} + G_{sv2} = 0.126 \cdot \frac{0.2 - 0.05}{1 - 0.05} \cdot \frac{1}{0.2222 - 0.044} = 0.11 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

materijalni bilans vlage za proces me{anja dva vla`na vazduha:

$$G_{sv0} \cdot \bar{Y}_0 + G_{sv2} \cdot \bar{Y}_2 = (G_{sv0} + G_{sv2}) \cdot \bar{Y}_m \quad (1)$$

$$G_{sv0} + G_{sv2} = 0.11 \quad (2)$$

Kombinovanjem jedna~ina (1) i (2) dobija se: $G_{sv0} = 0.092 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$, $G_{sv2} = 0.018 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$

b)

$$h_1 = c_p \cdot t_1 + \bar{Y}_1 \cdot (1.86 \cdot t_1 + 2500) \quad (1)$$

$$h_m = c_p \cdot t_m + \bar{Y}_m \cdot (1.86 \cdot t_m + 2500) \quad (2)$$

Oduzimanjem jedna~ina (1) i (2) dobija se: $h_1 - h_m = (t_1 - t_m) \cdot (c_p + 1.86 \cdot \bar{Y}_1)$

$$q_w = \frac{Q_{m1}}{W} = \frac{(G_{sv0} + G_{sv2}) \cdot (h_1 - h_m)}{(G_{sv0} + G_{sv2}) \cdot (\bar{Y}_2 - \bar{Y}_1)} = \frac{(t_1 - t_m) \cdot (c_p + 1.86 \cdot \bar{Y}_1)}{\bar{Y}_2 - \bar{Y}_1} = 182.1 \frac{\text{kJ}}{\text{kgW}}$$

3.16. Jabuke koje ne podnose temperaturu vi{u od 70°C su{e se u teorijskoj su{ari sa recirkulacijom dela iskori{enog vazduha. Stanje sve`eg vazduha odreleno je sa 0(t=6°C, $\bar{Y}=5.31$ gH₂O/kgSV). Apsolutna vla`nost iskori{enog vazduha je

$\bar{Y}_2=34$ gH₂O/kgSV, a specifi`na potro{nja toplote u su{ari iznosi $q_w=3650$ kJ/kg odstranjene vlage.

Skicirati promene stanja vla`nog vazduha na h – \bar{Y} dijagramu i odrediti:

- masene udele sve`eg i recirkulacionog vazduha u me{avini
- minimalnu temperaturu do koje se mora zagrejati sve` vazduh pre me{anja da bi se izbeglo stvaranje magle za vreme procesa me{anja

a)

ta~ka 0:

$$\bar{Y}_o=0.00531 \frac{\text{kgH}_2\text{O}}{\text{kgSV}}$$

$$h_o=c_p \cdot t + \bar{Y} \cdot (1.86 \cdot t + 2500)=1 \cdot 6 + 0.00531 \cdot (1.86 \cdot 6 + 2500)=19.33 \frac{\text{kJ}}{\text{kgSV}}$$

ta~ka 2:

$$\bar{Y}_2=0.034 \frac{\text{kgH}_2\text{O}}{\text{kgSV}}$$

$$q_w = \frac{Q_{m1}}{W} = \frac{h_1 - h_m}{\bar{Y}_2 - \bar{Y}_1} = \frac{h_2 - h_m}{\bar{Y}_2 - \bar{Y}_m} = \frac{h_2 - g_o \cdot h_o - g_2 \cdot h_2}{\bar{Y}_2 - g_o \cdot \bar{Y}_o - g_2 \cdot \bar{Y}_2} \Rightarrow$$

$$q_w = \frac{h_2 \cdot (1 - g_2) - g_o \cdot h_o}{\bar{Y}_2 \cdot (1 - g_2) - \bar{Y}_o \cdot h_o} = \frac{h_2 - h_o}{\bar{Y}_2 - \bar{Y}_o} \Rightarrow h_2 = h_o + q_w \cdot (\bar{Y}_2 - \bar{Y}_o) \Rightarrow$$

$$h_2 = 19.33 + 3650 \cdot (0.034 - 0.00531) = 124.05 \frac{\text{kJ}}{\text{kgSV}}$$

ta~ka 1:

$$h_1 = h_2 = 124.05 \frac{\text{kJ}}{\text{kgSV}}$$

$$\bar{Y}_1 = \frac{h_1 - c_p \cdot t_1}{1.86 \cdot t_1 + 2500} = \frac{124.05 - 1 \cdot 70}{1.86 \cdot 70 + 2500} = 0.0205 \frac{\text{kgH}_2\text{O}}{\text{kgSV}}$$

ta~ka M:

$$\bar{Y}_m = \bar{Y}_1 = 0.0205 \frac{\text{kgH}_2\text{O}}{\text{kgSV}}$$

$$g_o = \frac{\bar{Y}_2 - \bar{Y}_m}{\bar{Y}_2 - \bar{Y}_o} = \frac{0.034 - 0.0205}{0.034 - 0.00531} = 0.47$$

$$g_2 = \frac{\bar{Y}_m - \bar{Y}_o}{\bar{Y}_2 - \bar{Y}_o} = \frac{0.0205 - 0.00531}{0.034 - 0.00531} = 0.53$$

$$h_m = g_o \cdot h_o + g_2 \cdot h_2 = 0.47 \cdot 19.33 + 0.53 \cdot 124.05 = 74.83 \frac{\text{kJ}}{\text{kgSV}}$$

3.17. U teorijskoj su{ari sa recirkulacijom jednog dela iskori{ }enog vazduha su{i se vla`an materijal po~etne vla`nosti 300% ra-unato na suhu materiju ($\bar{X}_1=3 \frac{\text{kgW}}{\text{kgSM}}$). U su{ari se odstrani 80% od

vlage koju sa sobom u su{aru unosi vla`an materijal i pri tom dobijamo 32 kg/h osu{enog materijala. Stanje sve`eg vazduha odredeno je sa ($t=20^\circ\text{C}$, $\varphi=0.6$) a stanje otpadnog vazduha odredeno je sa ($t=40^\circ\text{C}$, $\varphi=0.8$). Temperatura vazduha nakon faze zagrevanja iznosi $t=76^\circ\text{C}$. Odrediti:

- toplotnu snagu zagreja~a vazduha Q_{zag} (kW)
- koliko bi se toplote moglo u{tedeti (u zagreja~u) hlalenjem otpadnog vazduha do stanja zasi}enja i rekuperativnim kori{ }enjem tako oslobolene toplote za zagrevanje vazduha nastalog me{anjem sve`eg i recirkulacionog vazduha (slika)

ta~ka 0:

$$p^\phi = 2337 \text{ Pa} \quad (\text{napon pare } \sim\text{iste vode na } t=20^\circ\text{C})$$

$$p_{\text{H}_2\text{O}} = \varphi \cdot p^\phi = 0.6 \cdot 2337 = 1402.2 \text{ Pa}$$

$$\bar{Y}_o = \frac{M_{\text{H}_2\text{O}}}{M_{\text{SV}}} \cdot \frac{p_{\text{H}_2\text{O}}}{p - p_{\text{H}_2\text{O}}} = \frac{18}{29} \cdot \frac{1402.2}{1 \cdot 10^5 - 1402.2} = 0.0088 \frac{\text{kgH}_2\text{O}}{\text{kgSV}}$$

$$h_o = c_p \cdot t + \bar{Y} \cdot (1.86 \cdot t + 2500) = 1 \cdot 20 + 0.0088 \cdot (1.86 \cdot 20 + 2500) = 42.33 \frac{\text{kJ}}{\text{kgSV}}$$

ta~ka 2:

$$p^\phi = 7375 \text{ Pa} \quad (\text{napon pare } \sim\text{iste vode na } t=40^\circ\text{C})$$

$$p_{\text{H}_2\text{O}} = \varphi \cdot p^\phi = 0.8 \cdot 7375 = 5900 \text{ Pa}$$

$$\bar{Y}_2 = \frac{M_{\text{H}_2\text{O}}}{M_{\text{SV}}} \cdot \frac{p_{\text{H}_2\text{O}}}{p - p_{\text{H}_2\text{O}}} = \frac{18}{29} \cdot \frac{5900}{1 \cdot 10^5 - 5900} = 0.0389 \frac{\text{kgH}_2\text{O}}{\text{kgSV}}$$

$$h_2 = c_p \cdot t + \bar{Y} \cdot (1.86 \cdot t + 2500) = 1 \cdot 40 + 0.0389 \cdot (1.86 \cdot 40 + 2500) = 140.14 \frac{\text{kJ}}{\text{kgSV}}$$

ta~ka 1:

$$h_1 = h_2 = 140.14 \frac{\text{kJ}}{\text{kgSV}}$$

$$\bar{Y}_1 = \frac{h - c_p \cdot t}{1.86 \cdot t + 2500} = \frac{140.14 - 1 \cdot 76}{1.86 \cdot 76 + 2500} = 0.0243 \frac{\text{kgH}_2\text{O}}{\text{kgSV}}$$

ta~ka M:

$$\bar{Y}_m = \bar{Y}_1 = 0.0243 \frac{\text{kgH}_2\text{O}}{\text{kgSV}}$$

$$g_o = \frac{\bar{Y}_2 - \bar{Y}_m}{\bar{Y}_2 - \bar{Y}_o} = \frac{0.0389 - 0.0243}{0.0389 - 0.0088} = 0.485 \quad g_2 = 1 - g_1 = 0.515$$

$$h_m = g_o \cdot h_o + g_2 \cdot h_2 = 0.485 \cdot 42.33 + 0.515 \cdot 140.14 = 92.70 \frac{\text{kJ}}{\text{kgSV}}$$

a)

$$\bar{x}_1 = \frac{\bar{X}_1}{1 + \bar{X}_1} = \frac{3}{3 + 1} = 0.75 \frac{\text{kgW}}{\text{kg(W + SM)}}$$

materijalni bilans komore za su{enje materijala: $\bar{L}_1 = \bar{L}_2 + W$ (1)

bilans vlage komore za su{enje materijala: $\bar{L}_1 \cdot \bar{x}_1 = \bar{L}_2 \cdot \bar{x}_2 + W$ (2)

uslov zadatka: $0.8 \cdot \bar{L}_1 \cdot \bar{x}_1 = W$ (3)

kada se odstranjena vlaga (W) iz jedna~ina (3) uvrsti u jedna~ine (1) i (2) dobija se:

$$\bar{L}_1 \cdot \bar{x}_1 = \bar{L}_2 \cdot \bar{x}_2 + 0.8 \cdot \bar{L}_1 \cdot \bar{x}_1 \quad \text{tj.} \quad 0.2 \cdot \bar{L}_1 \cdot \bar{x}_1 = \bar{L}_2 \cdot \bar{x}_2 \quad (4)$$

$$\bar{L}_1 = \bar{L}_2 + 0.8 \cdot \bar{L}_1 \cdot \bar{x}_1 \quad \text{tj.} \quad \bar{L}_1 = \frac{\bar{L}_2}{1 - 0.8 \cdot \bar{x}_1} \quad (5)$$

kada se jedna~ina (5) uvrsti u jedna~inu (4) dobija se:

$$\bar{x}_2 = \frac{0.2 \cdot \bar{x}_1}{1 - 0.8 \cdot \bar{x}_1} = \frac{0.2 \cdot 0.75}{1 - 0.8 \cdot 0.75} = 0.375 \frac{\text{kgW}}{\text{kg(W + SM)}}$$

$$(4) \quad \Rightarrow \quad \bar{L}_1 = \frac{\bar{L}_2 \cdot \bar{x}_2}{0.2 \cdot \bar{x}_1} = \frac{32 \cdot 0.375}{0.2 \cdot 0.75} = 80 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

$$(1) \quad \Rightarrow \quad W = \bar{L}_1 - \bar{L}_2 = 80 - 32 = 48 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

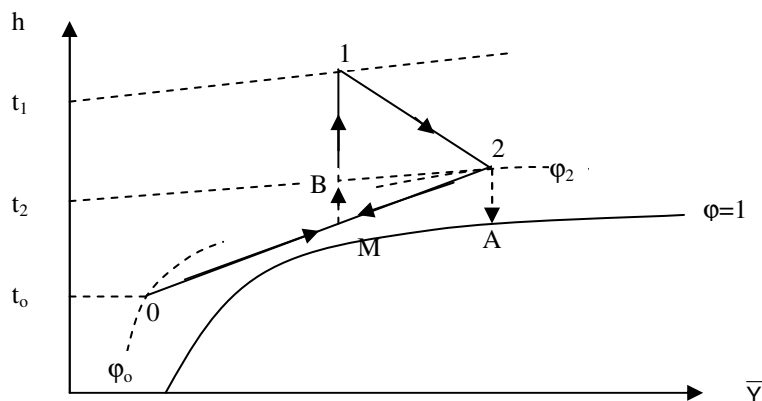
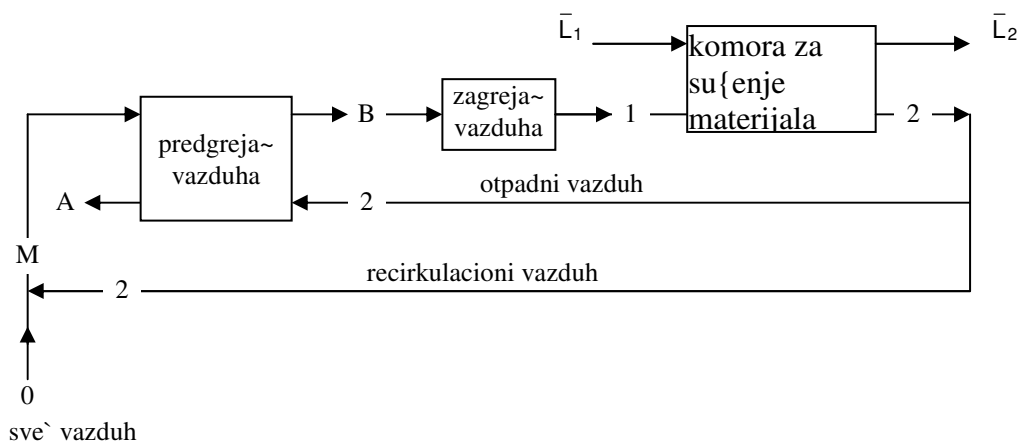
$$G_{\text{sv0}} + G_{\text{sv2}} = \frac{W}{Y_2 - Y_1} = \frac{48}{0.0389 - 0.0243} \cdot \frac{1}{3600} = 0.91 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

toplotni bilans zagreja~a vazduha: $H_{\text{ulaz}} + Q_{\text{ml}} = H_{\text{izlaz}}$

$$(G_{\text{sv0}} + G_{\text{sv2}}) \cdot h_m + Q_{\text{zag}} = (G_{\text{sv0}} + G_{\text{sv2}}) \cdot h_1 \quad \Rightarrow \quad Q_{\text{zag}} = (G_{\text{sv0}} + G_{\text{sv2}}) \cdot (h_1 - h_m)$$

$$Q_{\text{zag}} = 0.91 \cdot (140.14 - 92.7) = 43.17 \text{ kW}$$

b)



$$G_{sv0} = g_0 \cdot (G_{sv0} + G_{sv2}) = 0.485 \cdot 0.91 = 0.44 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$G_{sv2} = g_2 \cdot (G_{sv0} + G_{sv2}) = 0.515 \cdot 0.91 = 0.47 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

ta~ka A:

$$\bar{Y}_A = \bar{Y}_2, \quad h_A = f(\bar{Y}_A, \varphi = 1) = 136.17 \frac{\text{kJ}}{\text{kgSV}}$$

toplnotni bilans predgreja~a vazduha: $-\Delta H_{2A} = \Delta H_{MB}$

$$-G_{sv0} \cdot (h_A - h_2) = (G_{sv0} + G_{sv2}) \cdot (h_B - h_M) = Q_{\text{pred}}$$

$$Q_{\text{pred}} = -0.44 \cdot (136.17 - 140.14) = 1.75 \text{ kW}$$

3.18. U dvostepenoj teorijskoj su{ari za 6 sati osu{i se 1000 kg vla`nog materijala. Maseni odnos vlage prema suvoj materiji u materijalu koji ulazi u prvi stepen su{enja je

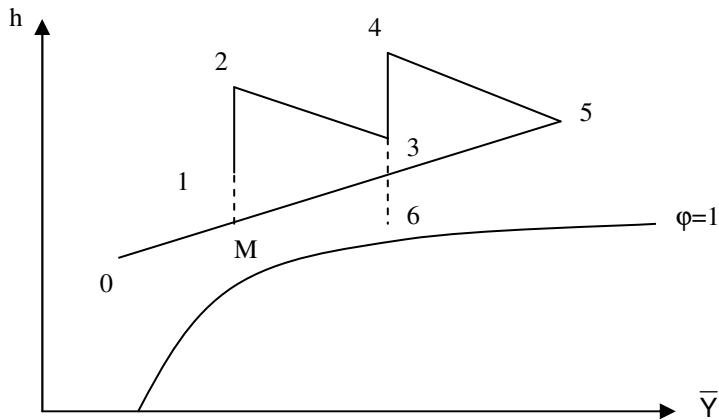
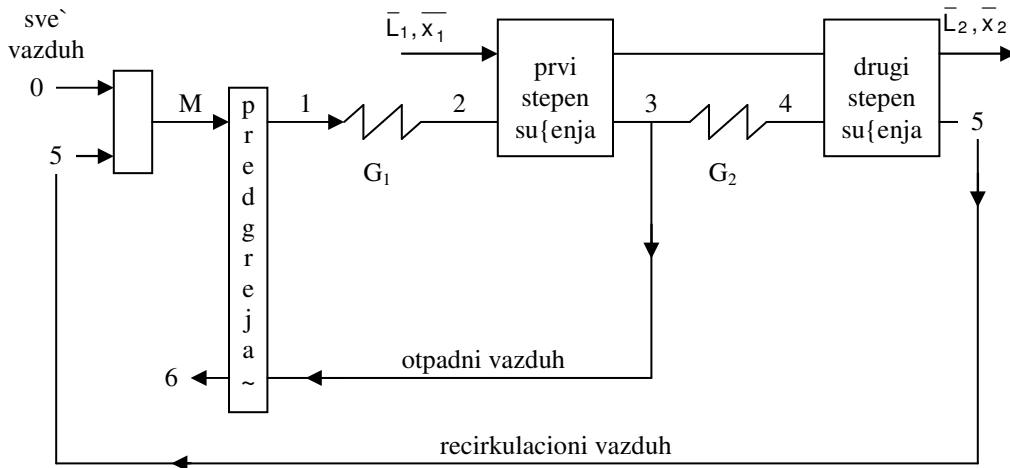
0.43 $\frac{\text{kgW}}{\text{kgSM}}$ a maseni odnos vlage prema suvoj materiji u materijalu koji napu{ta drugi stepen su{enja je

$0.14 \frac{\text{kgW}}{\text{kgSM}}$. Sve` ulazni vazduh stanja 0 ($p=1 \text{ bar}$, $t=16^\circ\text{C}$, $\varphi=0.5$) me`a se sa recirkulacionim vazduhom

stanja 5 ($p=1 \text{ bar}$, $t=46^\circ\text{C}$, $\varphi=0.6$) u odnosu 2:1, a zatim se predgreja~u vazduha (razmenjiva~ toplote) pomo}u dela vla`nog vazduha oduzetog iz prvog stepena su{are. U greja~ima vazduha G_1 i G_2 vla`an vazduh se zagreva do temperature od 80°C . Temperatura vla`nog vazduha na izlazu iz postrojenja je 30°C .

Skicirati promene stanja vla`nog vazduha na $h - \bar{Y}$ dijagramu i odrediti:

- veli~ine stanja vla`nog vazduha (h , \bar{Y} , t) u karakteristi~nim ta~kama
- toplotne snage greja~a vazduha, G_1 i G_2
- vla`nost materijala (maseni udeo vlage) na kraju prvog stepena su{enja



a)

ta-ka 0:

$$\bar{Y}_0 = f(t_0, \varphi_0) = 0.0057 \frac{\text{kgH}_2\text{O}}{\text{kgSV}}$$

$$h_0 = f(t_0, \bar{Y}_0) = 30.42 \frac{\text{kJ}}{\text{kgSV}}$$

ta-ka 5:

$$\bar{Y}_5 = f(t_5, \varphi_5) = 0.03996 \frac{\text{kgH}_2\text{O}}{\text{kgSV}}$$

$$h_5 = f(t_5, \bar{Y}_5) = 149.32 \frac{\text{kJ}}{\text{kgSV}}$$

ta-ka M:

toplotni bilans procesa me{anja dva vla`na vazduha:

$$H_{\text{ulaz}} = H_{\text{izlaz}}$$

$$G_{\text{sv0}} \cdot h_0 + G_{\text{sv5}} \cdot h_5 = (G_{\text{sv0}} + G_{\text{sv5}}) \cdot h_m \Rightarrow h_m = \frac{\frac{G_{\text{sv0}}}{G_{\text{sv5}}} \cdot h_0 + h_5}{\frac{G_{\text{sv0}}}{G_{\text{sv5}}} + 1}$$

$$h_m = \frac{\frac{2}{1} \cdot (30.42) + 149.32}{\frac{2}{1} + 1} = 70.05 \frac{\text{kJ}}{\text{kgSV}}$$

materijalni bilans vlage za proces me{anja dva vla`na vazduha:

$$G_{\text{sv0}} \cdot \bar{Y}_0 + G_{\text{sv5}} \cdot \bar{Y}_5 = (G_{\text{sv0}} + G_{\text{sv5}}) \cdot \bar{Y}_m \Rightarrow \bar{Y}_m = \frac{\frac{G_{\text{sv0}}}{G_{\text{sv5}}} \cdot \bar{Y}_0 + \bar{Y}_5}{\frac{G_{\text{sv0}}}{G_{\text{sv5}}} + 1}$$

$$\bar{Y}_m = \frac{\frac{2}{1} \cdot 0.0057 + 0.04}{\frac{2}{1} + 1} = 0.0171 \frac{\text{kgH}_2\text{O}}{\text{kgSV}}$$

$$t_m = \frac{h_m - \bar{Y}_m \cdot 2500}{c_p + \bar{Y}_m \cdot 1.86} = \frac{70.05 - 0.0171 \cdot 2500}{1 + 0.0171 \cdot 1.86} = 26.43^\circ\text{C}$$

ta-ka 2:

$$\bar{Y}_2 = \bar{Y}_m = 0.0171 \frac{\text{kgH}_2\text{O}}{\text{kgSV}}$$

$$h_2 = f(t_2, \bar{Y}_2) = 125.35 \frac{\text{kJ}}{\text{kgSV}}$$

ta-ka 4:

$$h_4 = h_5 = 149.32 \frac{\text{kJ}}{\text{kgSV}}$$

$$\bar{Y}_4 = f(t_4, h_4) = 0.0262 \frac{\text{kgH}_2\text{O}}{\text{kgSV}}$$

ta-ka 3:

$$h_3 = h_2 = 125.35 \frac{\text{kJ}}{\text{kgSV}}$$

$$\bar{Y}_3 = \bar{Y}_4 = 0.0262 \frac{\text{kgH}_2\text{O}}{\text{kgSV}}$$

ta-ka 6:

$$\bar{Y}_6 = \bar{Y}_3 = \bar{Y}_4 = 0.0262 \frac{\text{kgH}_2\text{O}}{\text{kgSV}} \quad h_6 = f(t_6, \bar{Y}_6) = 96.89 \frac{\text{kJ}}{\text{kgSV}}$$

ta-ka 1:

$$\bar{Y}_1 = \bar{Y}_m = 0.0171 \frac{\text{kgH}_2\text{O}}{\text{kgSV}} \quad h_1 = ?$$

toplotni bilans predgreja-a vazduha: $-\Delta H_{36} = \Delta H_{M1}$

$$-G_{\text{sv0}} \cdot (h_6 - h_3) = (G_{\text{sv0}} + G_{\text{sv6}}) \cdot (h_1 - h_M) \quad \Rightarrow$$

$$h_1 = h_M - \frac{G_{\text{sv0}} \cdot (h_6 - h_3)}{G_{\text{sv6}} + 1} = 70.05 - \frac{2 \cdot (96.89 - 125.35)}{\frac{2}{1} + 1} = 89.02 \frac{\text{kJ}}{\text{kgSV}}$$

$$t_1 = \frac{h_1 - \bar{Y}_1 \cdot 2500}{c_p + \bar{Y}_1 \cdot 1.86} = \frac{89.02 - 0.0171 \cdot 2500}{1 + 0.0171 \cdot 1.86} = 77.84^\circ\text{C}$$

b)

$$\bar{x}_1 = \frac{\bar{X}_1}{1 + \bar{X}_1} = \frac{0.43}{0.43 + 1} = 0.30 \frac{\text{kgW}}{\text{kg(W + SM)}}$$

$$\bar{x}_2 = \frac{\bar{X}_2}{1 + \bar{X}_2} = \frac{0.14}{0.14 + 1} = 0.12 \frac{\text{kgW}}{\text{kg(W + SM)}}$$

bilans vlage za oba stepena su{enja zajedno:

$$W = \bar{L}_1 \cdot \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{1 - \bar{x}_2} = \frac{1000}{6} \cdot \frac{0.30 - 0.12}{1 - 0.12} = 34.09 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

$$W = (G_{\text{sv0}} + G_{\text{sv5}}) \cdot (\bar{Y}_3 - \bar{Y}_2) + G_{\text{sv6}} \cdot (\bar{Y}_5 - \bar{Y}_4) \quad \Rightarrow$$

$$G_{\text{sv5}} = \frac{W}{3 \cdot (\bar{Y}_3 - \bar{Y}_2) + (\bar{Y}_5 - \bar{Y}_4)} = \frac{34.09}{3 \cdot (0.0262 - 0.0171) + 0.04 - 0.0262} = 0.23 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$G_{\text{sv0}} = 2 \cdot G_{\text{sv5}} = 2 \cdot 0.23 = 0.46 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

toplotni bilans prvog greja~a vazduha (G_1): $H_{ulaz} + Q_{12} = H_{izlaz}$

$$(G_{sv0} + G_{sv5}) \cdot h_1 + Q_{12} = (G_{sv0} + G_{sv2}) \cdot h_2 \Rightarrow Q_{12} = (G_{sv0} + G_{sv2}) \cdot (h_2 - h_1)$$

$$Q_{12} = 0.69 \cdot (125.35 - 89.02) = 25.07 \text{ kW}$$

toplotni bilans drugog greja~a vazduha (G_2): $H_{ulaz} + Q_{34} = H_{izlaz}$

$$G_{sv5} \cdot h_3 + Q_{34} = G_{sv5} \cdot h_4 \Rightarrow Q_{34} = G_{sv5} \cdot (h_4 - h_3)$$

$$Q_{12} = 0.23 \cdot (149.32 - 125.35) = 5.51 \text{ kW}$$

c)

$$W_1 = \bar{L}_1 \cdot \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}}{1 - \bar{x}} \quad (1)$$

$$W_1 = (G_{sv0} + G_{sv5}) \cdot (\bar{Y}_3 - \bar{Y}_2) \quad (2)$$

Kombinovanjem jedna~ina (1) i (2) dobija se $W_1 = 22.6 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$ i $\bar{x} = 0.2$

zadatak za ve`banje: (3.19.)

3.19. U dvostepenoj teorijskoj su{ari su{i se 1800 kg/h nekog proizvoda koji sadr`i 39 mas% vlage. Nakon su{enja proizvod sadr`i 92 mas% suve materije. Vazduh izlazi iz su{are na temperaturi od 45°C. Temperatura okoline je 20°C. Vazduh se pred svakim stepenom zagreva do 80°C a na izlazu iz svakog stepena ima relativnu vla`nost 70%. Sve promene stanja vla`nog vazduha u su{ari se dogalaju pri $p=1 \text{ bar}=\text{const}$. Skicirati promene stanja vla`nog vazduha na $h - \bar{Y}$ dijagramu i odrediti:

- ukupnu potro{nju toplote u su{ari (kW)
- izra~unati vla`nost materijala (maseni udeo vlage) na izlazu iz prvog stepena su{enja

re{enje:

a) $\underline{Q} = 573 \text{ kW}$

b) $\underline{x} = 0.25$

3.20. Drvena ploča, površine $A=18.58 \text{ m}^2$, sušena je od početnog sadržaja vlage $\bar{X}_1=0.38 \frac{\text{kgW}}{\text{kgSM}}$ do

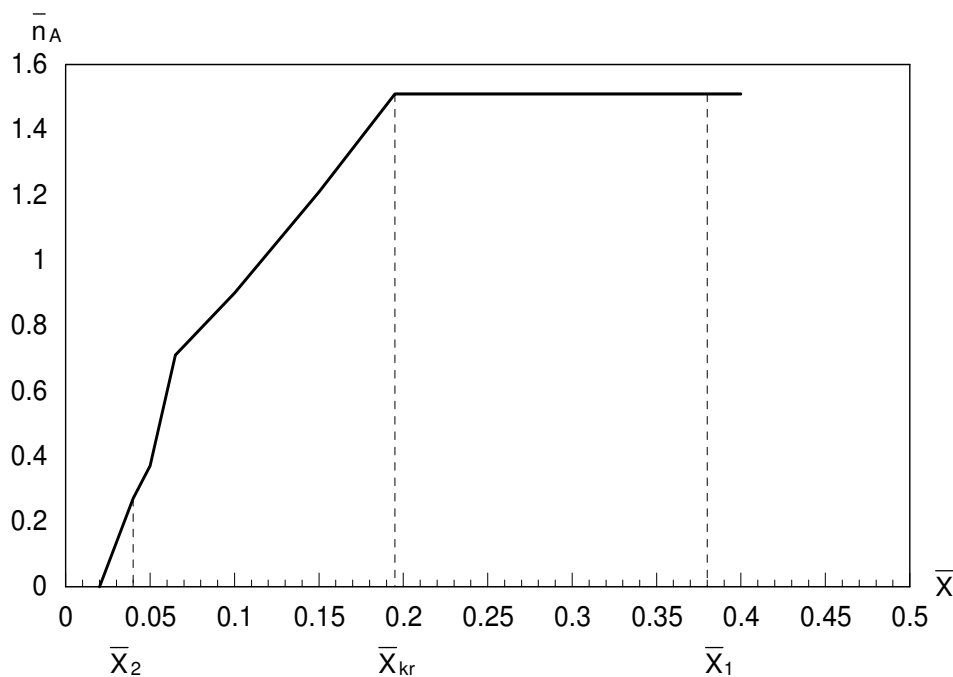
$\bar{X}_2=0.04 \frac{\text{kgW}}{\text{kgSM}}$. Masa suve materije u drvenoj ploči iznosi

$\bar{L}_{in}=399 \text{ kg}$. Kriva sušenja predstavljena je tabelarno:

	1	2	3	4	5	6	7	8
$\bar{n}_A, \frac{\text{kg}}{\text{m}^2\text{h}}$	1.51	1.51	1.21	0.90	0.71	0.37	0.27	0
$\bar{X}, \frac{\text{kgW}}{\text{kgSM}}$	0.400	0.195	0.150	0.100	0.065	0.050	0.040	0.02

Nacrtati krivu brzine sušenja i odrediti

- količinu vlage koja se odstrani iz materijala u procesu sušenja
- vreme sušenja



$\bar{X}_{kr}=0.195 \frac{\text{kgW}}{\text{kgSM}}$, kritična vlažnost materijala

a)

$$\Delta W_1 = \bar{L}_{in} \cdot (\bar{X}_1 - \bar{X}_{kr}) = 399 \cdot (0.38 - 0.195) = 73.815 \text{ kg}$$

$$\Delta W_2 = \bar{L}_{in} \cdot (\bar{X}_{kr} - \bar{X}_2) = 399 \cdot (0.195 - 0.04) = 61.845 \text{ kg}$$

$$\Delta W = \Delta W_1 + \Delta W_2 = 73.815 + 61.845 = 135.66 \text{ kg}$$

b)

$$\tau_1 = \frac{\bar{L}_{in} \cdot (\bar{X}_1 - \bar{X}_{kr})}{n_A \cdot A} = \frac{399 \cdot (0.38 - 0.195)}{1.51 \cdot 18.58} = 2.63 \text{ h}$$

$$\tau_2 = -\frac{\bar{L}_{in}}{A} \cdot \int_{\bar{X}_{kr}}^{\bar{X}_2} \frac{1}{n_A} \cdot d\bar{X} = \dots \quad \text{Integral re{avamo metodom grafi~ke integracije}}$$

	0	1	2	3	4	5
$\bar{X}, \frac{\text{kgW}}{\text{kgSM}}$	0.195	0.150	0.100	0.065	0.050	0.040
$f(x) = \frac{1}{n_A}, \frac{\text{m}^2\text{h}}{\text{kg}}$	0.66	0.83	1.11	1.41	2.70	3.70

$$\mathbf{I} = \left[\frac{\bar{X}_5 - \bar{X}_0}{5} \right] \cdot \left[\frac{f(x_5) + f(x_0)}{2} + f(x_1) + f(x_2) + f(x_3) + f(x_4) \right] \Rightarrow$$

$$\mathbf{I} = \left[\frac{0.04 - 0.195}{5} \right] \cdot \left[\frac{3.70 + 0.66}{2} + 0.83 + 1.11 + 1.41 + 2.70 \right] = -0.255$$

$$\tau_2 = -\frac{399}{18.58} \cdot [-0.255] = 5.48 \text{ h}$$

$$\tau = \tau_1 + \tau_2 = 2.63 + 5.48 = 8.11 \text{ h}$$

3.21. Vla`an materijal su{i se vazduhom stanja ($p=1$ bar, $T=40^{\circ}\text{C}$, $T_{\text{vi}}=30^{\circ}\text{C}$) koji struji paralelno povr{ini materijala brzinom $w=3$ m/s od po~etne vla`nosti $\bar{X}_1=?$ do zavr{ne vla`nosti $\bar{X}_2=0.1 \frac{\text{kgW}}{\text{kgSM}}$.

Kriti~na i ravnote`na vla`nost materijala iznose: $\bar{X}_{\text{kr}}=0.2 \frac{\text{kgW}}{\text{kgSM}}$, $\bar{X}^*=0 \frac{\text{kgW}}{\text{kgSM}}$. U periodu opadaju}e

brzine su{enja zavisnost brzine su{enja od vla`nosti materijala, $\bar{n}_A=f(\bar{X})$, je linearna. Vreme trajanja perioda opadaju}e brzine su{enja je dva puta du`e od vremena trajanja perioda konstantne brzine su{enja. Odrediti:

- maseni fluks vlage ($\bar{n}_A, \frac{\text{kg}}{\text{m}^2\text{h}}$) u periodu konstantne brzine su{enja
- po~etnu vla`nost materijala (\bar{X}_1)
- koliko bi trebalo da iznosi po~etna vla`nost materijala da bi, uz nepromenjene ostale uslove, vreme trajanja perioda konstantne brzine su{enja i perioda opadaju}e brzine su{enja bilo jednako

a)

$$\bar{n}_A = \frac{\alpha \cdot (T - T_M)}{r} = \dots$$

T_M – Temperatura materijala u periodu konstantne brzine su{enja jednaka je temperaturi vla`nog termometra za vazduh kojim vr{imo su{enje tj. $T_M=30^{\circ}\text{C}$

r – Latentna toplota isparavanja vode na temperaturi materijala

$$(T_M=30^{\circ}\text{C}) \text{ tj. } r=2430 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

α – Koeficijent prelaza toplote sa vazduha na materijal koji su{imo.

$$\text{Odreduje se iz jedna~ine } \alpha = 14.28 \cdot [\rho \cdot w]^{0.8}, \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$$

ρ – gustina vazduha sa kojim vr{imo su{enje ($p=1$ bar, $T=40^{\circ}\text{C}$ $T_{\text{vi}}=30^{\circ}\text{C}$)

$$\text{tj. } \rho=1.128 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

w – Brzina strujanja vazduha du` povr{ine materijala tj. $w=3 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

$$\alpha = 14.28 \cdot [1.128 \cdot 3]^{0.8} = 41.9 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$$

$$\bar{n}_A = \frac{41.9 \cdot (40 - 30)}{2430 \cdot 10^{-3}} \cdot 3600 = 0.62 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2\text{h}}$$

b)

$$\tau_1 = \frac{\bar{L}_{\text{in}}}{A} \cdot \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_{\text{kr}}}{\bar{n}_A}, \quad \text{vreme trajanja perioda konstantne brzine su{enja}$$

$$\tau_2 = -\frac{\bar{L}_{in}}{A} \cdot \int_{\bar{X}_{kr}}^{\bar{X}_2} \frac{1}{\bar{n}_A} \cdot d\bar{X}, \text{ vreme trajanja perioda opadaju} \} e \text{ brzine su} \{ enja$$

Najpre moramo odrediti linearnu zavisnost $\bar{n}_A = f(\bar{X})$, koriste}i analiti~ki oblik jedna~ine prave kroz 2 ta~ke:

$$\text{ta~ka 1: } \quad \bar{X} = \bar{X}_{kr} = 0.2 \frac{\text{kgW}}{\text{kgSM}}, \quad \bar{n} = \bar{n}_A = 0.62 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2\text{h}}$$

$$\text{ta~ka 2: } \quad \bar{X} = \bar{X}^* = 0.1 \frac{\text{kgW}}{\text{kgSM}}, \quad \bar{n} = \bar{n}_A = 0 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2\text{h}}$$

$$\bar{n} - 0.62 = \frac{0 - 0.62}{0 - 0.2} \cdot (\bar{X} - 0.2) \Rightarrow \quad \bar{n} = 3.1 \cdot \bar{X} \Rightarrow$$

$$\tau_2 = -\frac{\bar{L}_{in}}{A} \cdot \int_{\bar{X}_{kr}}^{\bar{X}_2} \frac{1}{3.1 \cdot \bar{X}} \cdot d\bar{X} \Rightarrow \quad \tau_2 = -\frac{\bar{L}_{in}}{A} \cdot \frac{1}{3.1} \ln \frac{\bar{X}_2}{\bar{X}_{kr}}$$

$$\tau_2 = -\frac{\bar{L}_{in}}{A} \cdot \frac{1}{3.1} \cdot \ln \frac{0.1}{0.20} = 0.22 \cdot \frac{\bar{L}_{in}}{A}$$

$$\text{uslov zadatka: } \quad \tau_2 = 2 \cdot \tau_1 \Rightarrow \quad 0.22 \cdot \frac{\bar{L}_{in}}{A} = 2 \cdot \frac{\bar{L}_{in}}{A} \cdot \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_{kr}}{\bar{n}_A}$$

$$\bar{X}_1 = \bar{X}_{kr} + 0.22 \cdot \frac{\bar{n}_A}{2} = 0.2 + 0.22 \cdot \frac{0.62}{2} = 0.268 \frac{\text{kgW}}{\text{kgSM}}$$

c)

$$\text{uslov zadatka: } \quad \tau_2 = \tau_1 \Rightarrow \quad 0.22 \cdot \frac{\bar{L}_{in}}{A} = \frac{\bar{L}_{in}}{A} \cdot \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_{kr}}{\bar{n}_A}$$

$$\bar{X}_1 = \bar{X}_{kr} + 0.22 \cdot \bar{n}_A = 0.2 + 0.22 \cdot 0.62 = 0.3364 \frac{\text{kgW}}{\text{kgSM}}$$

3.22. Laboratorijsko sušenje je izvedeno na uzorku oblika ploče površine $A=0.1 \text{ m}^2$. Uzorak je sušen vazduhom stanja ($p=1 \text{ bar}$, $T=65^\circ\text{C}$, $T_{\text{vt}}=29^\circ\text{C}$). Rezultati laboratorijskog sušenja su prikazani u tabeli:

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
τ	0	2.29	6.86	8.00	9.48	10.87	11.87	13.21	15.75	19.75
m	5.08	5.00	4.84	4.80	4.76	4.73	4.71	4.69	4.66	4.64

gde je: τ vreme sušenja (h), a m masa uzorka (kg).

Na kraju procesa sušenja uzorak je osušen u sušnici na temperaturi $T=120^\circ\text{C}$, pri čemu je masa uzorka nakon toga iznosila $\bar{L}_{\text{in}}=4 \text{ kg}$.

- a) nacrtati krivu brzine sušenja
- b) odrediti koeficijent prelaza mase (β_p) u periodu konstantne brzine sušenja

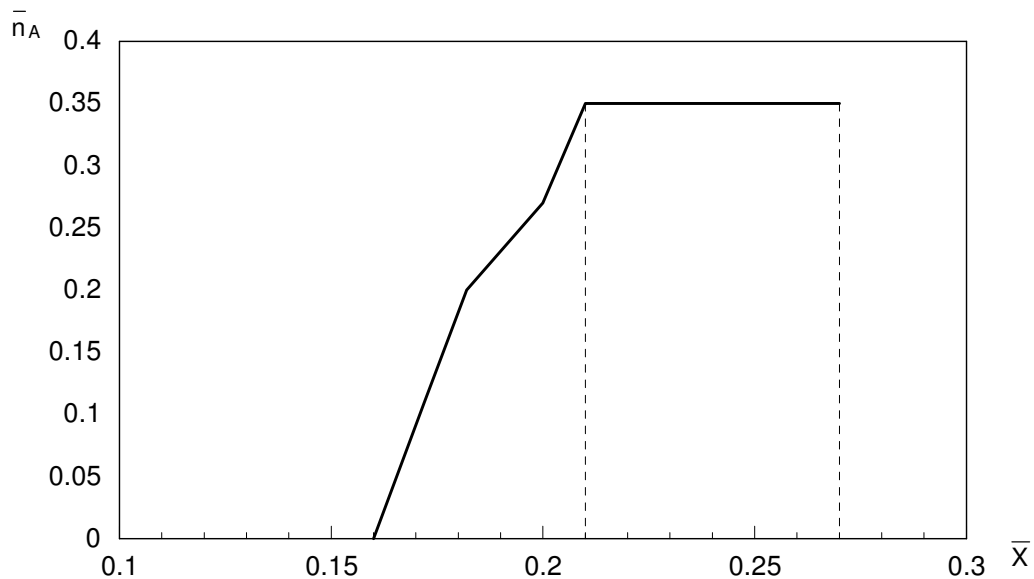
a)

Na osnovu zadatih podataka formira se nova tabela:

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
\bar{n}_A	0.35	0.35	0.35	0.27	0.23	0.2	0.15	0.11	0.05	0
\bar{X}	0.27	0.25	0.21	0.2	0.19	0.182	0.177	0.172	0.165	0.16

$$\bar{n}_A, \quad \text{maseni fluks vlage, } \frac{\text{kg}}{\text{m}^2\text{h}}, \quad \bar{n}_A = \frac{\Delta m}{A \cdot \Delta \tau}$$

$$\bar{X}, \quad \text{vlažnost materijala, } \frac{\text{kgW}}{\text{kgSM}}, \quad \bar{X} = \frac{m - \bar{L}_{\text{in}}}{\bar{L}_{\text{in}}}$$



b)

Sa krive su{enja o~itamo:

$$\bar{n}_A = 0.35 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \text{h}}, \text{ maseni fluks vode u periodu konstantne brzine su{enja}$$

$$\bar{n}_A = \beta_p \cdot (p^\phi - p_{\text{H}_2\text{O}}) \cdot M_{\text{H}_2\text{O}} \Rightarrow$$

$$\beta_p = \frac{\bar{n}_A}{(p^\phi - p_{\text{H}_2\text{O}}) \cdot M_{\text{H}_2\text{O}}} = \dots$$

p^ϕ – napon pare ~iste vode na temperaturi koju ima materijal u periodu konstantne brzine su{enja

$p_{\text{H}_2\text{O}}$ – parcijalni pritisak vodene pare u vla`nom vazduhu sa kojim vr{imo su{enje

Temperatura vla`nog materijala u periodu konstantne brzine su{enja jednaka je temperauri vla`nog termometra za vazduh kojim vr{imo su{enje. U ovom slu~aju ta temperatura iznosi $T=29^\circ\text{C}$. Napon pare vode na ovoj temperaturi iznosi $p^\phi=4004 \text{ Pa}$.

Parcijalni pritisak vodene pare u vla`nom vazduhu stanja 2 odredi se na na~in:

$$p_{\text{H}_2\text{O}} = \varphi_1 \cdot (p^\phi)_T = \dots$$

Napon pare vode na temperaturi $T=65^\circ\text{C}$ iznosi $p^\phi=25010$ a relativna vla`nost vazduha φ_1 odreluje se na na~in:

$$\varphi = \frac{\bar{Y}}{\frac{M_{\text{H}_2\text{O}}}{M_{\text{sv}}} + \bar{Y}} \cdot \frac{p}{p^\phi} = \frac{0.0116}{\frac{18}{29} + 0.0116} \cdot \frac{1 \cdot 10^5}{25010} = 0.07$$

$$\bar{Y} = 0.0116 \frac{\text{kgH}_2\text{O}}{\text{kgSV}} \quad \text{Pro~itan sa } h - \bar{Y} \text{ dijagrama za vla`an vazduh}$$

$$p_{\text{H}_2\text{O}} = 0.07 \cdot 25010 = 1751 \text{ Pa}$$

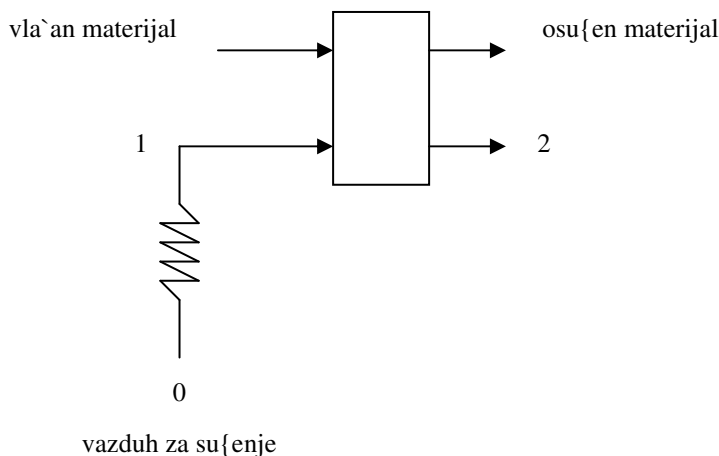
$$\beta_p = \frac{0.35}{(4004 - 1751) \cdot 18} = 8.63 \cdot 10^{-6} \frac{\text{kmolA}}{\text{m}^2 \text{h}(\Delta p)}$$

3.23. Kerami~ka plo~a, povr{ine $A=231 \text{ cm}^2$, su{i se u adijabatskoj (teorijskoj) su{nici. Su{enje se vr{i atmosferskim vazduhom stanja 0 ($p=1 \text{ bar}$, $T=20^\circ\text{C}$, $T_{\text{vt}}=15^\circ\text{C}$) koji se pre ulaska u komoru za su{enje materijala zagreva do stanja 1 ($p=1 \text{ bar}$, $T=60^\circ\text{C}$). U periodu konstante brzine su{enja stanje vazduha koji napu{ta komoru za su{enje materijala iznosi 2 ($p=1 \text{ bar}$, $\phi=0.9$). Te`ina suve materije u kerami~koj plo~i iznosi $\bar{L}_{\text{in}}=0.38 \text{ kg}$. Pri su{enje plo~e pod navedenim uslovima eksperimentalno su dobijeni slede}i podaci:

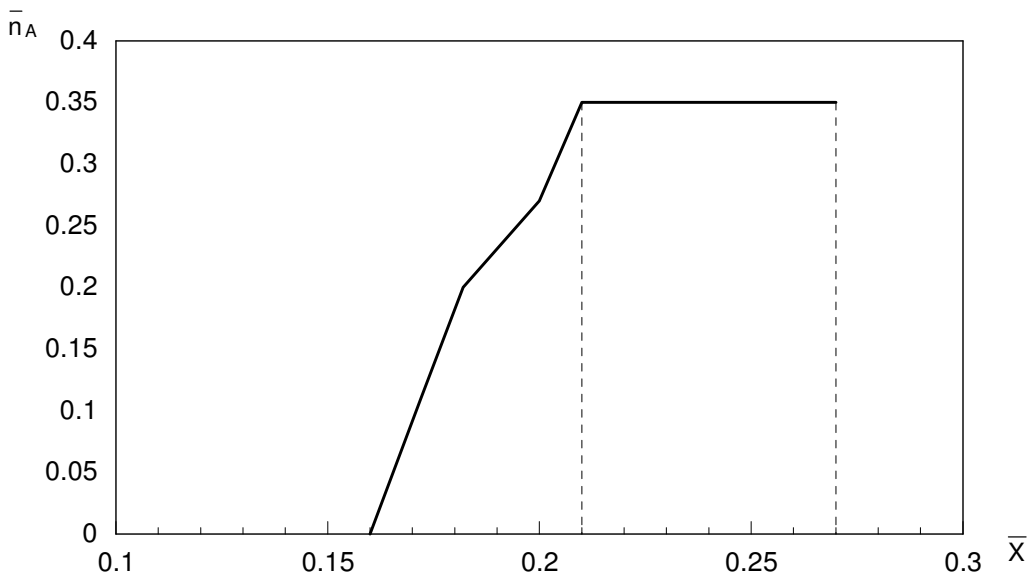
	1	2	3	4	5	6	7
$\bar{n}_A, \frac{\text{kg}}{\text{m}^2\text{h}}$	0.35	0.35	0.35	0.27	0.20	0.11	0
$\bar{X}, \frac{\text{kgW}}{\text{kgSM}}$	0.27	0.25	0.21	0.20	0.182	0.172	0.16

Konstruisati krivu brzine su{enja i odrediti:

- koli~inu vlage u materijalu na po~etku su{enja, pri kriti~noj vla`nosti pri ravnote`noj vla`nosti, kg
- koli~inu vlage koja se iz materijala ukloni u periodu konstante brzine su{enja, kg
- trajanje perioda konstantne brzine su{enja, h
- veli~ine stanja vla`nog vazduha (h, \bar{Y}) u karakteristi~nim ta~kama (0, 1 i 2) i predstaviti promene stanja vla`nog vazduha na Molijerovom $h - \bar{Y}$ dijagramu
- koeficijent prelaza mase u periodu konstante brzine su{enja, $(\beta_p), \frac{\text{kmolA}}{\text{m}^2\text{h}(\Delta p)}$
- potro{nju vazduha za su{enje materijala u periodu konstante brzine su{enja, kg
- potro{nju toplote u zagreja~u vazduha u periodu konstante brzine su{enja, kJ



kriva brzine su{enja:



sa dijagrama se o~ita:

$$\bar{X}_1 = 0.27 \frac{\text{kgW}}{\text{kgSM}}, \quad \text{po~etna vla`nost materijala}$$

$$\bar{X}_{kr} = 0.21 \frac{\text{kgW}}{\text{kgSM}}, \quad \text{kriti~na vla`nost materijala}$$

$$\bar{X}^* = 0.16 \frac{\text{kgW}}{\text{kgSM}}, \quad \text{ravnote`na vla`nost materijala}$$

$$\bar{n}_A = 0.35 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2\text{h}}, \quad \text{maseni fluks vode u periodu konstantne brzine su{enja}$$

a)

$$W_1 = \bar{L}_{in} \cdot \bar{X}_1 = 0.38 \cdot 0.27 = 0.1026 \text{ kg}$$

$$W_{kr} = \bar{L}_{in} \cdot \bar{X}_{kr} = 0.38 \cdot 0.21 = 0.0798 \text{ kg}$$

$$W^* = \bar{L}_{in} \cdot \bar{X}^* = 0.38 \cdot 0.16 = 0.0608 \text{ kg}$$

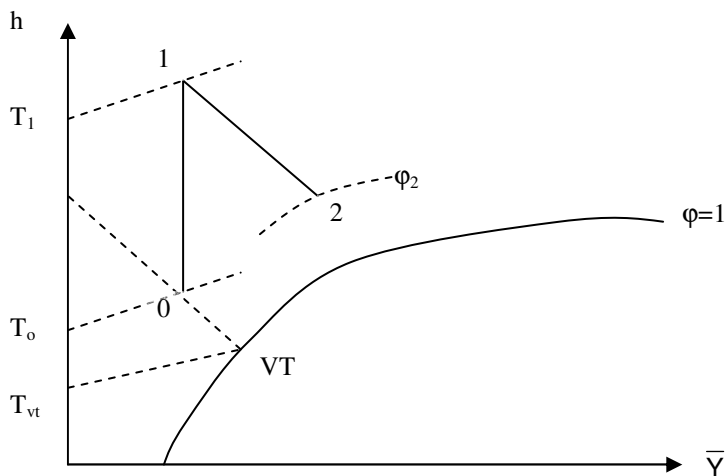
b)

$$\Delta W = W_1 - W_{kr} = 0.1026 - 0.0798 = 0.0228 \text{ kg}$$

c)

$$\tau = \frac{\bar{L}_{in} \cdot (\bar{X}_1 - \bar{X}_{kr})}{\bar{n}_A \cdot A} = \frac{0.38 \cdot (0.27 - 0.21)}{0.35 \cdot 231 \cdot 10^{-4}} = 2.8 \text{ h}$$

d)



napomena: 0-1 $\bar{Y} = \text{const}$, 1-2 $h = \text{const}$

ta-ka 0: $h_o = 42.3 \frac{\text{kJ}}{\text{kgSV}}$, $\bar{Y}_o = 0.0088 \frac{\text{kgH}_2\text{O}}{\text{kgSV}}$

ta-ka 1: $\bar{Y}_1 = \bar{Y}_o = 0.0088 \frac{\text{kgH}_2\text{O}}{\text{kgSV}}$, $h_1 = 82.98 \frac{\text{kJ}}{\text{kgSV}}$

ta-ka 2: $h_2 = h_1 = 82.98 \frac{\text{kJ}}{\text{kgSV}}$, $\bar{Y}_2 = 0.022 \frac{\text{kgH}_2\text{O}}{\text{kgSV}}$

sve vrednosti su pročitane sa Molijerovog $h - \bar{Y}$ dijagrama za vlažan vazduh

e)

$$\bar{n}_A = \beta_p \cdot (p^\phi - p_{\text{H}_2\text{O}}) \cdot M_{\text{H}_2\text{O}} \Rightarrow$$

$$\beta_p = \frac{\bar{n}_A}{(p^\phi - p_{\text{H}_2\text{O}}) \cdot M_{\text{H}_2\text{O}}} = \dots$$

p^ϕ – napon pare iste vode na temperaturi koju ima materijal u periodu konstantne brzine sušenja

$p_{\text{H}_2\text{O}}$ – parcijalni pritisak vodene pare u vlažnom vazduhu sa kojim vršimo sušenje (stanje 1)

Temperatura vlažnog materijala u periodu konstantne brzine sušenja jednaka je temperaturi vlažnog termometra za vazduh kojim vršimo sušenje. Ta temperatura se očitava na Molijerovom $h - \bar{Y}$ dijagramu za vlažan vazduh u preseku linija $h_1 = 82.98 \frac{\text{kJ}}{\text{kgSV}}$ i $\phi = 1$ i iznosi $T = 26.5^\circ\text{C}$. Napon pare vode na ovoj temperaturi iznosi $p^\phi = 3260 \text{ Pa}$.

Parcijalni pritisak vodene pare u vlažnom vazduhu stanja 2 odredi se na način:

$$p_{\text{H}_2\text{O}} = \phi_1 \cdot (p^\phi)_{T_1} = \dots$$

Napon pare vode na temperaturi $T_1 = 60^\circ\text{C}$ iznosi $p^\phi = 19910$, a relativna vlažnost vazduha ϕ_1 određuje se na način:

$$\phi = \frac{\bar{Y}_1}{\frac{M_{\text{H}_2\text{O}}}{M_{\text{sv}}} + \bar{Y}_1} \cdot \frac{p}{p^\phi} = \frac{0.0088}{\frac{18}{29} + 0.0088} \cdot \frac{1 \cdot 10^5}{19910} = 0.07$$

$$p_{\text{H}_2\text{O}} = 0.07 \cdot 19910 = 1398 \text{ Pa}$$

$$\beta_p = \frac{0.35}{(3260 - 1398) \cdot 18} = 1.04 \cdot 10^{-5} \frac{\text{kmolA}}{\text{m}^2\text{h}(\Delta p)}$$

f)

Materijalni bilans vlage za proces u komori za sušenje materijala u periodu konstantne brzine sušenja: $\bar{G}_{\text{in}} \cdot (\bar{Y}_2 - \bar{Y}_1) = \bar{L}_{\text{in}} \cdot (\bar{X}_1 - \bar{X}_{\text{kr}})$ \Rightarrow

$$\bar{G}_{\text{in}} = \frac{\bar{L}_{\text{in}} \cdot (\bar{X}_1 - \bar{X}_{\text{kr}})}{\bar{Y}_2 - \bar{Y}_1} = \frac{0.38 \cdot (0.27 - 0.21)}{0.022 - 0.0088} = 1.73 \text{ kg}$$

g)

Toplotni bilans zagrejava vazduha: $Q_{\text{zag}} = \bar{G}_{\text{in}} \cdot (h_1 - h_0)$

$$Q_{\text{zag}} = 1.73 \cdot (82.98 - 42.3) = 70.38 \text{ kJ}$$

3.24. Vlažan materijal suši se vazduhom stanja ($p=1$ bar, $T=32^{\circ}\text{C}$, $\varphi=0.6$) koji struji paralelno površini materijala brzinom $w=2$ m/s. U cilju skraćivanja dužine trajanja perioda konstantne brzine sušenja na raspolaganju nam stoje dve mogućnosti:

1. zagrevanje vazduha pre sušenja materijala do temperature od $T=62^{\circ}\text{C}$, uz nepromenjenju brzinu strujanja
2. povećanje brzine vazduha na $w=4$ m/s uz nepromenjenju temperaturu

Na koji od dva navedena načina se više skratiti vreme trajanja perioda konstantne brzine sušenja.

τ – vreme trajanja perioda konstantne brzine sušenja u navedenim uslovima:

$$\tau = \frac{\bar{L}_{in}}{A} \cdot \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_{kr}}{\bar{n}_A} = K \cdot \frac{1}{\bar{n}_A} = K \cdot \frac{r}{\alpha \cdot (T - T_M)} = \frac{K}{14.28} \cdot \frac{r}{(\rho \cdot w)^{0.8} \cdot (T - T_M)}$$

$T_M = 26^{\circ}\text{C}$, temperatura vlažnog termometra za vazduh stanja ($p=1$ bar, $T=32^{\circ}\text{C}$, $\varphi=0.6$)

$r = 2440 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$ toplota isparavanja vode na $T_M = 26^{\circ}\text{C}$

$\rho = 1.142 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ gustina vazduha vazduh stanja ($p=1$ bar, $T=32^{\circ}\text{C}$, $\varphi=0.6$)

$$\tau = \frac{K}{14.28} \cdot \frac{2440 \cdot 10^{-3}}{(1.142 \cdot 2)^{0.8} \cdot (32 - 26)} = \frac{K}{14.28} \cdot 0.193$$

τ_1 – vreme trajanja perioda konstantne brzine sušenja sa vazduhom zagrejanim do $T=62^{\circ}\text{C}$ vazduhom

$T_M = 32^{\circ}\text{C}$, temperatura vlažnog termometra zagrejanog vazduha stanja ($p=1$ bar, $T=62^{\circ}\text{C}$, $\bar{Y} = \text{const}$)

$r = 2424 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$ toplota isparavanja vode na $T_M = 32^{\circ}\text{C}$

$\rho = 1.040 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ gustina vazduha vazduh stanja ($p=1$ bar, $T=62^{\circ}\text{C}$, $\bar{Y} = \text{const}$)

$$\tau_1 = \frac{K}{14.28} \cdot \frac{2424 \cdot 10^{-3}}{(1.04 \cdot 2)^{0.8} \cdot (62 - 32)} = \frac{K}{14.28} \cdot 0.045$$

τ_2 – vreme trajanja perioda konstantne brzine su{enja sa vazduhom temperature $T=32^\circ\text{C}$ koji struji brzinom $w=4$ m/s

$T_M = 26^\circ\text{C}$, temperatura vla`nog termometra za vazduh stanja
($p=1$ bar, $T=32^\circ\text{C}$, $\varphi=0.6$)

$r = 2440 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$ toplota isparavanja vode na $T_M = 26^\circ\text{C}$

$\rho = 1.142 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ gustina vazduha vazduh stanja ($p=1$ bar, $T=32^\circ\text{C}$, $\varphi=0.6$)

$$\tau_2 = \frac{\text{K}}{14.28} \cdot \frac{2240 \cdot 10^{-3}}{(1.142 \cdot 4)^{0.8} \cdot (32 - 26)} = \frac{\text{K}}{14.28} \cdot 0.111$$

$$\frac{\tau}{\tau_1} = \frac{\frac{\text{K}}{14.28} \cdot 0.193}{\frac{\text{K}}{14.28} \cdot 0.045} = 4.29$$

$$\frac{\tau}{\tau_2} = \frac{\frac{\text{K}}{14.28} \cdot 0.193}{\frac{\text{K}}{14.28} \cdot 0.111} = 1.74$$

U prvom slu~aju period konstantne brzine su{enja se skрати 4.29 puta, a u drugom 1.74 puta, {to zna~i da se na prvi na~in (pove}avanjem temperature) postie ve}e skra}enje perioda konstantne brzine su{enja.